



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA GASTRONOMICKÉHO ZARIADENIA Z KORÓZIIVZDORNEJ OCELE

MANUFACTURE OF GASTRONOMIC EQUIPMENT OF STAINLESS STEEL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivana Macková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Ivana Macková</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Milan Kalivoda</b>
Akademický rok:	2019/20

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:

## Výroba gastronomického zariadenia z koróziivzdornej ocele

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V spotrebnom priemysle je koróziivzdorná oceľ používaná v rozšírenej miere. Jej vlastnosti určujú dodržiavanie pre ňu špecifických postupov spracovania.

### Ciele bakalářské práce:

- Charakteristika koróziivzdornej ocele
- Možnosti využitia v spotrebnom priemysle
- Návrh výrobných postupov pre gastronomické zariadenia (vrátane povrchových úprav)
- Zhodnotenie

### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

HLAVENKA, Bohumil. Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem. 4. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2008. 163 s. ISBN 978-80-214-3607-7.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva Šmehlíková. Speciální technologie tváření, 2. část. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 163 s. ISBN 987-80-214-4406-5.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá koróziou, koróziivzdornými ocelami a povrchovými úpravami ocelí, ktoré zabráňujú koróznemu rozrušeniu materiálu. Ďalej je v práci riešený návrh výroby nerotačnej súčasti s prírubou z austenitickej nerezovej ocele X5CrNi 18-10. Na tabuľových nožniciach sa vystrihne prístrih. Technológiou hlbokého ťahania je prístrih vytvarovaný do požadovaného tvaru na lise CYS 320 a neskôr sa obstrihne príruha na lise LEXN 100 C. Ekonomické zhodnotenie výroby je stanovené na modelovú situáciu 100 000 ks/rok.

### Kľúčové slová

korózia, koróziivzdorná oceľ, strihanie, hlboké ťahanie, nerotačný výtlačok

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with corrosion, stainless steels and surface treatments of steels, which prevent corrosive disruption of the material. Furthermore, the work deals with the design of the production of non-rotating component with a flange made of austenitic stainless steel X5CrNi 18-10. A blank is cut out on sheet shears. A blank is formed into the desired shape on a CYS 320 press by deep drawing technology, and later a flange is cut on LEXN 100 C press. The economic evaluation of production is set at a model situation of 100 000 pcs/year.

### Key words

corrosion, stainless steel, shearing, deep drawing, non-rotating shell

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MACKOVÁ, Ivana. *Výroba gastronomického zariadenia z koróziivzdornej ocele* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124497>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 57 s., 2 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Výroba gastronomického zariadenia z koróziivzdornej ocele vypracovala samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

10.6.2020

-----  
Dátum

-----  
Ivana Macková

## POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto vedúcemu mojej práce pánovi Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytol pri vypracovaní bakalárskej práce. Veľká vďaka patrí pani Ing. Eve Peterkovej, Ph.D. za odborné konzultácie a cenné rady. Ďakujem aj svojej rodine, ktorá ma podporuje v štúdiu.

---

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA .....	3
PREHLÁSENIE .....	4
POĎAKOVANIE .....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD .....	7
1 KORÓZIA A KORÓZNA ODOLNOSŤ .....	8
1.1 Druhy napadnutia .....	8
1.2 Pasivita.....	11
2 CHARAKTERISTIKA KORÓZIIVZDORNÝCH OCELÍ.....	12
2.1 Martenzitické ocele.....	12
2.2 Feritické ocele .....	13
2.3 Austenitické ocele .....	13
2.4 Precipitačne vytvrdzovateľné ocele .....	14
2.5 Duplexné ocele.....	15
3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY .....	16
3.1 Kovové povlaky .....	16
3.2 Organické povlaky.....	16
3.3 Anorganické nekovové povlaky .....	17
4 TVÁRNENIE .....	19
4.1 Strihanie .....	20
4.2 Hlboké ťahanie rotačných výtlačkov .....	22
4.3 Hlboké ťahanie nerotačných výtlačkov .....	25
4.4 Mazivo .....	30
5 NÁVRH VÝROBY ZVOLENEJ SÚČASTI.....	31
5.1 Voľba materiálu .....	32
5.2 Návrh prístrihu.....	32
5.3 Nástrihový plán.....	35
5.4 Strihanie prístrihu .....	38
5.5 Parametre ťahania .....	39
5.6 Obstrihnutie príruby .....	41
5.7 Návrh technologického postupu výroby.....	42
6 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE VÝROBY.....	43
6.1 Priame náklady.....	43
6.2 Ražijné náklady .....	45
6.3 Celkové náklady .....	45
7 DISKUSIA .....	47
ZÁVER .....	48
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....	49
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK .....	52
ZOZNAM PRÍLOH.....	55

---

## ÚVOD

Korózia je vo väčšine prípadov nežiadúci jav. Najmä v potravinárskom priemysle je neprípustné, aby sa používali koróziou poškodené predmety, ktoré prichádzajú do priameho kontaktu s potravinami. V závodných kuchyniach, reštauráciách či iných zariadeniach, kde sa pripravujú pokrmy je všetko vybavenie, vrátane stolov, regálov, všetkého nábytku a pracovných plôch z ocele. Na zhotovenie gastronomických zariadení (obr. 0.1) sa využíva oceľ s charakteristickým chemickým zložením, aby boli dosiahnuté požadované vlastnosti, prípadne oceľ so špeciálnymi povrchovými úpravami, ktoré v takomto prostredí nepodliehajú koróznemu narušeniu. Často žiadanou povrchovou úpravou v gastronómii je smaltovanie.

Na výrobu súčastí z nehrdzavejúcej ocele je možné použiť viacero postupov. Najčastejšie využívanou technológiou na výrobu kuchynského riadu a zariadenia do gastronomických prevádzok je plošné tvárnenie. Najmä strihanie, ohýbanie a hlboké ťahanie.



Obr. 0.1 Vybavenie kuchyne v gastronomickom zariadení.



## 1 KORÓZIA A KORÓZNA ODOLNOSŤ

Korózia je dej, ktorý chemickou reakciou s prostredím spôsobuje znehodnocovanie materiálu. Môže zapríčiniť porušenie mechanických vlastností, úbytok materiálu, čo vedie k zníženiu pevnosti súčasti. Je nežiadúce, aby korózne splodiny zapríčinili znečistenie výrobného prostredia najmä v potravinárskom a farmaceutickom priemysle. [1]

Pri korózii za vysokých teplôt sú teplota a korózne splodiny hlavnými faktormi, ktoré ovplyvňujú rýchlosť a charakter korózie. Korózne splodiny, vrstvy korózných produktov, sú kryštalické látky obsahujúce štruktúrne vady. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim koróznou rýchlosť je charakter produktov vzniknutých chemickou reakciou. Ak tieto látky nemajú ochranný charakter, sú plynné alebo kvapalné, je závislosť teploty na rýchlosti lineárna. Pokiaľ vznikajú látky s ochranným charakterom, prípadne čiastočne ochranným, rýchlosť parabolicky klesá. Vplyvom vysokej teploty produkty tvoria prekážku difundujúcim iónom. [2]

Elektrochemická reakcia, ktorá prebieha medzi dvoma adekvátne elektricky vodivými fázami sa nazýva elektrochemická korózia. Vždy prebiehajú dve reakcie zároveň. Nemôže prebiehať len jedna samostatne a prebiehajú len v prípade, ak korodujúcim kovom prechádza elektrický prúd. Jednou z reakcií je oxidačná, anodická reakcia, ktorá vyvoláva vlastnú koróziu kovu. Paralelne prebieha redukcia oxidujúcej zložky nachádzajúcej sa v roztoku. [1]

### 1.1 Druhy napadnutia

#### Celková korózia

Pri celkovej korózii je znehodnotenie materiálu rozložené na celý povrch, pretože celý povrch ocele je rovnomerne vystavený elektrolytu. Nejedná sa o veľmi nebezpečný druh korózie v porovnaní s lokálnymi typmi korózie. Napriek vysokej rýchlosti korodovania existuje metóda na predpoklad rozsahu poškodenia. [2]

#### Medzikryštalová korózia

Medzikryštalová korózia sa odohráva na rozhraní medzi kryštálmi (obr. 1.1). Prebieha za určitých podmienok u zliatin, ktoré podliehajú starnutiu. Podliehajú jej aj zliatiny, v ktorých dochádza k zmenám štruktúry na hraniciach zrn vplyvom ohrevu, pri spracovaní. [2]



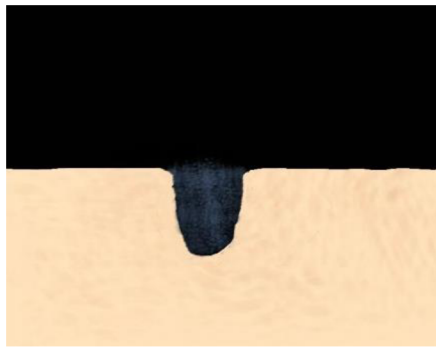
Obr. 1.1 Medzikryštalová korózia.

### Nožová korózia

Objavuje sa v prípade titánom stabilizovaných austenitických ocelí. Príčinou jej vzniku je vylučovanie karbidov titánu na hraniciach zŕn pri teplote solidu a precipitácia karbidov chrómu ochladzovaním do pásma kritických teplôt. [3]

### Bodová korózia

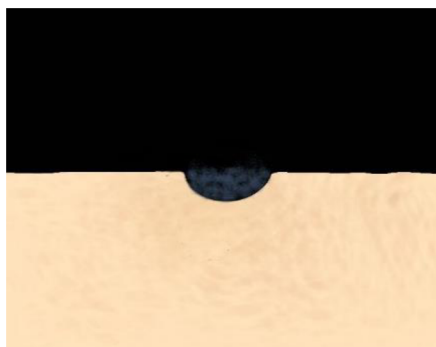
Ide o lokálnu formu korózie. Dochádza k narušeniu pasívnej vrstvy oxidov, ktorá sa stáva nespojitou, a tým je materiál náchylnejší na vznik zárodku korózie. Vyskytuje sa v miestach, kde sa nachádzajú vady materiálu siahajúce až k povrchu. Schopnosť materiálu obnoviť miesto s narušeným pasívnym filmom, repasivácia, má významný vplyv na imunitu proti bodovej korózii. Tvar bodovej korózie nie je symetrický, rozrušenie materiálu je značne hlbšie ako jeho priemer (obr. 1.3). [1, 2]



Obr. 1.2 Bodová korózia.

### Jamková korózia

Vznik jamkovej korózie je zapríčinený kyslíkom, pri vyššej teplote a tlaku má škodlivejší účinok. K jej vzniku napomáhajú aj nečistoty v oceli. Vyznačuje sa nepravidelným napadnutím materiálu. Napadnutie zasahuje malú časť povrchu. Hĺbka je zvyčajne menšia ako najväčší priemer jamky (obr. 1.4). [1, 7]



Obr. 1.3 Jamková korózia.

### Štrbinová korózia

Je podobná bodovej korózii. Rozdiel medzi bodovou a štrbinovou koróziou je v spôsobe inicializácie. Jej vznik závisí na kvalite pasívnej vrstvy, tvare a veľkosti štrbiny. Menej pravdepodobný vznik štrbinovej korózie je u štrbiny plytšej a otvorenejšej nachádzajúcej sa v premenlivom prostredí. [2]

### Nitková korózia

Názov je odvodený podľa charakteristického tvaru nitkovej korózie. Nešíri sa smerom do materiálu ale kopíruje jeho povrch. Nevzniká veľký objem korózných produktov. Napádané sú miesta s najslabšou súdržnosťou medzi kovom a povlakom, o čom nasvedčuje aj kľukatý smer šírenia napadnutia. [1]

### Korózia pod napätím

Vznik korózných trhlín zapríčiňuje praskanie konštrukčných ocelí. Známe sú dva typy, korózne praskanie a korózna únava, avšak nie je ľahké ich rozlíšiť. Prejavujú sa vznikom medzikryštálových a transkryštálických trhlín. Medzikryštálový charakter je rozdielny od typickej medzikryštálovej korózie, ktorej vznik nie je podmienený ťahovým namáhaním. Korózne praskanie sa vyskytuje u staticky namáhanej súčasti, kdežto korózna únava vzniká pôsobením cyklického namáhania. [1]

### Extrakčná korózia

Ak podlieha koróznemu poškodeniu najmä jedna chemická zložka zliatiny, jedná sa o ekstrakčnú koróziu. Môže postihovať celý povrch kovu rovnomerne alebo sa vyskytovať lokálne, po hraniciach zŕn. [2]

### Vodíková krehkosť

Prenikanie vodíku z prostredia do ocele vedie k poškodzovaniu materiálu. Je to dej, ktorý sa uskutočňuje pri korózných procesoch a povrchových úpravách. Vodík vytvárajúci sa na povrchu oceli alebo rozpustený v oceli počas jej výroby zhoršuje mechanické vlastnosti. Ocele majú vlastnosti obdobné krehkým materiálom, pretože vodík znižuje húževnatosť. [1]

### Vibračná korózia

Vyskytuje sa na styčných plochách súčastí, ktoré voči sebe periodicky kmitajú za určitého tlaku s malou amplitúdou. K poškodeniu vibračnou koróziou môže dôjsť aj pri nehybnom uložení. Ak sú tomuto druhu korózie vystavené funkčné plochy, je obmedzená životnosť súčastí. [1]

### Biologická korózia

Vznik biologickej korózie spôsobujú aeróbne a anaeróbne sírne baktérie. Aeróbne baktérie, ktoré sa zokupujú v slizovitých kolóniách, vytvárajú usadeniny. Tieto bakteriálne slizovité usadeniny vytvoria na povrchu kovu povlak. Prítomnosť konkrétnych druhov baktérií podporuje štrbinovú a bodovú koróziu, vznikajúcu pod vrstvou aeróbnych baktérii, typicky červenohnedej farby. [2]

### Kavitácia

Narušenie materiálu kavitáciou je na rozhraní medzi koróziou a výlučne mechanickým opotrebovaním. Tvorbou a zánikom bublín vznikajú v kvapaline rázy. Materiál je namáhaný kvapalinou, ktorá do neho naráža, keď bublina zaniká v jeho blízkosti. [2]

## 1.2 Pasivita

Schopnosť kovov pasivovať sa vedie k spomaleniu korózneho rozrušovania materiálu v oxidačnom prostredí, preto sa pasivita považuje za veľmi prospešný jav. Môže byť aj neželaným dejom pri niektorých druhoch elektrochemických reakcií. Pasivita obmedzuje chemickú reaktivitu, a tým sa kov stáva odolný. Kov alebo zliatina je v pasívnom stave, keď sa na jeho povrchu vytvorí tenké vrstvy oxidu. Proces vznikania týchto povlakov sa nazýva pasivácia. Povlaky vzniknuté reakciou medzi kovom a prostredím sú jednou z teórií pasivity – teóriou oxidových filmov. [1, 2]

Pri vyhovujúcom množstve oxidačnej látky v roztoku za určitých podmienok môže dôjsť k samovoľnej pasivácii. Pokiaľ sa zníži koncentrácia oxidačnej látky, alebo sa zmenia podmienky, môže nastať stav nestabilnej pasivity. Potom môže nastať aktivácia povrchu kovu už pri minimálnom mechanickom narušení pasívnej vrstvy. [2]

## 2 CHARAKTERISTIKA KORÓZIIVZDORNÝCH OCELÍ

Korózii vzdorné ocele sú charakterizované vysokou koróznou odolnosťou a odolnosťou proti oxidácii za zvýšených teplôt. Schopnosť nehrdzavejúcich ocelí a zliatin odolávať korózii má základ v ich schopnosti pasivovať sa. Pasivita u týchto ocelí je zaistená chrómom, ktorý sa v tuhom roztoku musí vyskytovať v miere minimálne 11,5 %. Vyšší obsah Cr je požadovaný pre pasiváciu v neoxidujúcich roztokoch. Typický je nízky obsah uhlíku, ktorý s chrómom vytvára karbidy, a tým znižuje obsah chrómu v tuhom roztoku.

Chróm je zásadný prvok pre dosiahnutie koróznej odolnosti ocelí a zliatin proti celkovej korózii. Obsahujú tiež 30 % niklu alebo 24 % mangánu, preto sa podľa chemického zloženia delia na chrómové, chrómniklové a chrómmangánové. Môžu obsahovať aj iné prvky, napríklad kremík, molybdén, meď, dusík, titán. Podľa štruktúry sa rozdeľujú na martenzitické, feritické, austenitické, precipitačne vytvrdzovateľné a duplexné. [2, 4, 5]

### 2.1 Martenzitické ocele

Nachádza sa v nich 12 až 17 % chrómu. Minimálna hranica obsahu uhlíku v martenzitických nehrdzavejúcich oceliach je 0,08 %. Nižší obsah uhlíku, pod 0,08 %, je vyvažovaný niklom. V štruktúre sa môže vyskytovať aj ferit, najviac do obsahu 20 %, pridaním niklu sa odstráni. Zakalením martenzitické ocele nadobúdajú koróznou odolnosť, ktorú je možné zvýšiť popúšťaním na vyššie teploty. Príčinou je znižovanie miestneho obsahu chrómu, spôsobené jeho difúziou. V najpoužívanejších oceliach sa obsah chrómu pohybuje do 13 % a obsah uhlíku do 0,25 %. Vybrané ocele a ich zloženia sú uvedené v tab. 2.1. [4, 5]

Martenzitické ocele neobsahujúce nikel obsahujú viac uhlíku (až 1,20 %) a obsah chrómu dosahuje 17–19 %. Ocele s väčším podielom obsahu uhlíku a chrómu sú legované molybdénom. Na obsahu uhlíku závisí ich medza sklzu. Martenzitická matrica má vysokú odolnosť proti korózii. [5]

Tab. 2.1 Vybrané martenzitické ocele a ich chemické zloženie v hmotnostných % [5].

Značka	Č. ozn.	Cr	C	Si max	Mn max	Mo	Ni max
<b>X12Cr13</b>	1.4006	11,5–13,5	0,08–0,15	1,0	1,5		0,75
<b>X20Cr13</b>	1.4021	12–14	0,16–0,25	1,0	1,5		
<b>X70CrMo15</b>	1.4109	14–16	0,65–0,75	0,7	1	0,4–0,8	
<b>X90CrMoV18</b>	1.4112	17–19	0,85–0,95	1,0	1	0,9–1,3	

Martenzitické chrómové a chróm-niklové ocele sú zväratelné, je však potrebné zabezpečiť špeciálne technologické postupy. Miera zväratelnosti závisí na množstve uhlíku v oceli. Rovnako aj pevnosť a tvrdosť je ovplyvnená obsahom uhlíku. So stúpajúcim obsahom uhlíku klesá plasticita a ocele sú horšie zväratelné. Naopak, čím vyšší je obsah uhlíku, tým je aj vyššia tvrdosť ocele. [3, 5]

Najčastejšie využitie martenzitických nehrdzavejúcich ocelí je v potravinárskom priemysle a zdravotníckom prostredí. Používajú sa najmä na výrobu jedálenských príborov, nožov a žiletiek. [4, 5]

## 2.2 Feritické ocele

Obsah Cr sa pohybuje do 30 % a obsah C do 0,08 % (tab. 2.2). Môžu obsahovať malé množstvá magnézia a kremíku. Pri izbovej teplote sú feritické ocele s vyšším obsahom uhlíku krehké. Krehnutie je spôsobené karbidmi vznikajúcich pri väčšej koncentrácii uhlíku v oceli. [4, 5]

Feritické ocele s obsahom chrómu 18 % a obsahom uhlíku do 0,03 % majú viacero výhod, jednou z nich je ich nižšia cena, pretože neobsahujú drahý nikel. Nie sú náchylné na vznik korózie pod napätím v roztokoch, ktoré obsahujú chloridy. Dajú sa zmagnetizovať. Hlavné nevýhody sú horšia zvárateľnosť, hrubnutie zrna a náchylnosť k vzniku medzikryštálovej korózie vyvolanej vylučovaním karbidov a nitridov. Pridaním nióbu alebo titánu sa zabraňuje ochudobneniu o chróm na rozhraní zŕn, a tým sa znižuje pravdepodobnosť vzniku medzikryštálovej korózie [3].

Tab. 2.2 Vybrané feritické ocele a ich chemické zloženie v hmotnostných % [5].

Značka	Č. ozn.	Cr	C max	Si max	Mn max	N	Mo
<b>X6Cr13</b>	1.4000	12–14	0,080	1,0	1,0		
<b>X22CrNi12</b>	1.4003	10,5–12,5	0,030	1,0	1,0	0,030	
<b>X2CrTi12</b>	1.4512	15,5–17,5	0,030	1,0	1,0		
<b>X2CrMoTi17-1</b>	1.4513	16–18	0,025	1,0	1,0	0,015	1,0–1,5
<b>X2CrTi17</b>	1.4520	16–18	0,025	0,5	0,5	0,015	
<b>X2CrMoTi29-4</b>	1.4592	28–30	0,025	1,0	1,0	0,045	3,5–4,5

Ocele s obsahom chrómu 25–29 % a pridaným molybdénom do 4 % sa nazývajú superferity. Sú dobre zvárateľné a rezistentné voči medzikryštálovej korózii a koróznemu praskaniu. Zvyšovaním obsahu chrómu až do 30 % stúpa aj schopnosť pasivácie, a tým sa zvyšuje korózna odolnosť. [5]

Chemické zloženie, veľkosť zrna a tepelné spracovanie majú vplyv na mechanické vlastnosti feritických chrómových ocelí. Nie sú vhodné na prácu pri vyšších teplotách. Používajú sa na výrobu príborov, pračiek, rôznych krytov, ozdôb do interiéru aj exteriéru. [3]

## 2.3 Austenitické ocele

Najznámejším typom nehrdzavejúcich ocelí sú austenitické koróziivzdorné ocele. Obsahujú medzi 16 a 25 % chrómu (tab. 2.3), môžu tiež obsahovať dusík, čím je zaručená ich vysoká korózna odolnosť. Pridaním niklu sa stabilizuje ich austenitická štruktúra, avšak práve z dôvodu vyššej ceny niklu nie sú tak často používané. [6]

Zloženie najpoužívanejších austenitických chróm-niklových ocelí je 18–20 % Cr a 8–11 % Ni. Vhodný je obsah uhlíku do 0,03 %. Potlačením precipitácie karbidov je možné získať austenitickú štruktúru aj pri obsahu do 0,1 % C. Vyšší obsah uhlíku spôsobuje pri zváraní vylučovanie karbidov chrómu. Vylučujú sa aj po tvárnení alebo odliatí pri pomalom ochladzovaní. Dochádza k lokálnemu poklesu obsahu chrómu pod 12 %, zaniká schopnosť pasivácie. Vylučovaním karbidov na hraniciach zŕn sa podnecuje vznik medzikryštálovej korózie. [3, 5, 6]

Austenitické ocele sa stabilizujú pridaním titánu. Oceľ obohatená o približne 5 % titánu, je odolná aj voči medzikryštálovej korózii. Napriek tomu sa aj v stabilizovaných oceliach objavuje nožová korózia. Stabilizáciou sa zabráni vylučovaniu karbidov, čím sa zaručí dobrá zvarateľnosť. [3, 5, 6]

Tab. 2.3 Vybrané austenitické ocele a ich chemické zloženie v hmotnostných % [5, 28].

Značka	Č. ozn.	Cr	C max	N max	Ni	Mo max
<b>X5CrNi18-10</b>	1.4301	17,5–19,5	0,07	0,11	8–10,5	
<b>X64CrNi18-12</b>	1.4303	17–19	0,06	0,15	11–13	
<b>X10CrNi18-8</b>	1.4310	16–19	0,15	0,11	6,0–9,5	0,08
<b>X1CrNi25-21</b>	1.4335	24–26	0,02	0,11	20–22	0,20
<b>X2CrNiN23-4</b>	1.4362	22–24	0,03	0,20	3,5–5,5	0,60

Austenitické ocele sú dobre korózne odolné v oxidačnom prostredí. Ocele s najmenšou koróznou odolnosťou sú schopné odolávať bežným vplyvom prostredia, ktoré ľudia každodenne vytvárajú. Najviac odolné prevedenie vydrží aj vriacu morskú vodu. Jednou zo slabostí je ich nižšia odolnosť voči korózii pod napätím v chloridy obsahujúcom prostredí. V prípade nedostatočnej koróznej odolnosti môže dôjsť ku koróznemu praskaniu. [3, 6]

Z metalurgického hľadiska majú viacero výhod. Majú nízku medzu skľuzu (200 MPa), čo sa odrazí vo vysokej ťažnosti až 40 %. Tieto mechanické vlastnosti priaznivo prispievajú k využitiu hlbokého ťaženia. Nie sú dobre obrábatel'né. Vytvrdzovaním je možné zvýšiť ich tvrdosť. [6]

## 2.4 Precipitačne vytvrdzovateľné ocele

Precipitačne vytvrdzovateľné ocele sa rozdeľujú do troch skupín: martenzitické, austenitické a čiastočne austenitické. [9]

Pri vývoji martenzitických ocelí boli hlavné zmeny v znížení obsahu niklu a pridaním legúr, najmä medi alebo hliníku. Martenzitická štruktúra vznikne po zakalení vytvrdzovateľných ocelí z teplôt 1 050 °C. Ocele legované meďou a niómom sa vytvrdzujú precipitáciou. Majú porovnateľnú koróznou odolnosť ako austenitické nerezové ocele a lepšie mechanické vlastnosti od martenzitických. Vytvrdzením sa získa vysoká pevnosť až 1 500 MPa. Vybrané značky a ich chemické zloženia sú uvedené v tab. 2.4. [4, 5, 9]

Tab. 2.4 Vybrané vytvrdzovateľné ocele a ich chemické zloženie v hmotnostných % [5].

Značka	Č. ozn.	Cr	C max	Mn max	Ni	Mo
<b>X8CrNiMoAl15-7-2</b>	1.4532	14–16	0,1	1,2	6,5–7,8	2–3
<b>X5CrNiCuNb16-4</b>	1.4542	15–17	0,07	1,5	3–5	max 0,6
<b>X7CrNiAl17-7</b>	1.4568	16–18	0,09	1	6,5–7,8	

Všetky uvedené značky obsahujú maximálne 0,7 % kremíku.

Úplne alebo čiastočne austenitická štruktúra vznikne po rozpúšťacom žíhaní oceli z 1 050 °C. Precipitačným vytvrdzovaním nadobúdajú vyššiu tvrdosť, čo vedie k zvýšenej odolnosti proti opotrebovaniu. Po vytvrdení sa získa vysoká medza sklzu (1250 MPa) a medza pevnosti 1 400 MPa. Sú vhodné na odliatky, s tvrdosťou okolo 250 HB, ktoré je možno opracovávať. Pri obsahu uhlíku pod 0,05 % majú ťažnosť nad 10 %. [3, 5]

Použitie týchto ocelí je vďaka ich výborným mechanickým vlastnostiam a dobrej odolnosti voči korózii veľmi rozšírené v rôznych odvetviach strojárstva. Používajú sa v leteckom, kozmickom priemysle, na nástroje na lisovanie gumených a plastových súčiastok. [5]

## 2.5 Duplexné ocele

Duplexné ocele majú zmiešanú austeniticko-feritickú štruktúru, preto sa nazývajú aj dvojfázové. Pomer austenitu a feritu býva 50/50 alebo 60 % austenitu a 40 % feritu. Obsahujú 21–28 % chrómu (tab. 2.5). Materiály s 25 % chrómu sú označované ako superduplexné. Chróm-niklové duplexné ocele obsahujú nikel v rozmedzí 3,5–8 %. Na dosiahnutie nižšej ceny sa nikel čiastočne nahrádza dusíkom. Dusík zvyšuje pomer austenitu v štruktúre. Za zvýšených teplôt zvyšuje stabilitu spomalením precipitácie karbidov. Niektoré ocele sa legujú tiež molybdénom. [3, 4, 5, 8]

Tab. 2.5 Vybrané duplexné ocele a ich chemické zloženie v hmotnostných % [5].

Značka	Č. ozn.	Cr	C max	N max	Ni	Mo
<b>X2CrNiN23-4</b>	1.4362	22–24	0,03	0,20	3,5–5,5	0,1–0,6
<b>X3CrNiMoN25-7-4</b>	1.4410	24–26	0,03	0,35	6–8	3–4,5
<b>X3CrNiMoN27-5-2</b>	1.4460	25–28	0,05	0,20	4,5–6,5	1,3–2
<b>X2CrNiMoN22-5-3</b>	1.4462	21–23	0,03	0,22	4,5–6,5	2,5–3,5

Sú vysoko legované. Medza sklzu je vyššia ako u austenitických koróziivzdorných ocelí. Majú vyššiu odolnosť proti medzikryštálovej a jamkovej korózii a koróznemu praskaniu. Miera koróznej odolnosti závisí na obsahu uhlíku. Na zvýšenie pevnostných vlastností má vplyv dusík. Legovanie dusíkom tiež prispieva k zvýšenej odolnosti proti lokálnej korózii. [3, 4, 5, 8]

Využívajú sa v chemickom priemysle a na potrubia. Nie sú vhodné na veľké výkopy z dôvodu zhoršenia mechanických vlastností kovaním. [3, 8]



### 3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Na povrchu kovov a zliatin sa môže vytvárať povlak, ktorý zlepšuje úžitkové vlastnosti súčastí. Požadovaná ochrana materiálu sa zaisťuje vhodným výberom konštrukčného materiálu, povrchovou úpravou a zmenou prostredia. Ochrana povrchu sa dá dosiahnuť aj spomalením priebehu reakcií, uvedením kovu do pasívneho stavu. Vhodná povrchová úprava dáva základnému materiálu kvalitatívne iné mechanické či korózne vlastnosti, čo je ekonomicky výhodnejšie ako voľba drahšieho materiálu so zodpovedajúcimi vlastnosťami. [10]

Protikorózna ochrana rozličnými druhmi povlakov patrí medzi najrozšírenejšie. Ochranné povlaky môžu mať kovový, nekovový, organický či anorganický charakter. Ochrana kovu proti hrdzaveniu spočíva v izolácii kovu od prostredia alebo v zmene vlastností koróznych produktov. Využitie látok, inhibítorov, ktoré spomalia korodovanie materiálu tým, že menia zloženie prenikajúceho prostredia je tiež jedna z foriem ochrany proti korózii. [1, 10]

#### 3.1 Kovové povlaky

Existuje veľa kovov používaných na tvorbu kovových povlakov. Jedná sa o kovy viac (zlato, platina) či menej ušľachtilé. Životnosť povlaku závisí na jeho hrúbke. S rastúcou hrúbkou povlaku sa znižuje množstvo pórov. Poréznosť je jednou zo základných vlastností určujúcich ochranný efekt kovových povlakov. Z čoho vyplýva, že cieľom povrchovej úpravy je dosiahnuť neporéznu tenkú vrstvu. [1]

Kovové povlaky sa delia na katodické a anodické vzhľadom k oceli. Katodické ochranné povlaky sú ušľachtilejšie ako základný materiál, preto fungujú ako katóda. Pri narušení vrstvy alebo väčšej pórovitosti dochádza ku korodovaniu základného materiálu pod ochranným povlakom. Anodické povlaky fungujú na princípe kovovej vrstvy, ktorý reaguje s daným prostredím. Vznikajú korózne splodiny, ktoré majú ochrannú funkciu proti ďalšej korózii. Takéto vlastnosti majú napríklad hliník a zinok. Vzniknuté produkty spôsobujú stratu lesku, preto sa takýto druh povrchovej úpravy volí, ak nie sú vysoké nároky na vzhľad súčastí. [1, 10]

#### 3.2 Organické povlaky

Povlaky vytvorené z polymérov slúžia ako ekonomicky výhodná ochrana proti vplyvom atmosféry a opotrebovaniu. Ochranné vlastnosti vyplývajú z vlastností použitých látok. Povlaky sú z gumy a plastických hmôt. Polyméry, z ktorých sú vyrábané tieto povlaky sú: polyamid, polyetylén, polyvinylchlorid, akrylát, celulóza, teflón a iné. Sú tiež vytvárané zo zmesí kaučukov, ktoré môžu byť prírodné aj syntetické. Hrúbka povlaku zvyšuje životnosť. Pri určitej hrúbke môže byť zhoršená kvalita povlaku, narušená jeho homogenita a väzba k základnému materiálu. Najdôležitejším kritériom pre životnosť je difúzia prostredia do povlaku. [1, 11]

Organické povlaky a nátery sa delia na dve skupiny. Prvou sú transparentné nátery, ktoré sú po nanosení priehľadné. Pri požiadavke farebnej transparentnej hmoty sa pridávajú organické farbivá. Nepriehľadná vrstva sa získa použitím druhej skupiny náterových hmôt – pigmentovaných. Podľa ochrannej funkcie sú pigmenty delené na neutrálne, inhibičné a stimulujúce. Stimulujúce zvyšujú rýchlosť korózie, inhibičné ju znižujú a neutrálne nemajú vplyv na priebeh korózneho napadnutia. [11]

### 3.3 Anorganické nekovové povlaky

Príznačným typom anorganických nekovových povlakov sú keramické smalty. Vytvára sa jednoliaty nerozpustný povlak, ktorý bráni styku kovu s prostredím. Aby mala vrstva smaltu ochrannú funkciu, musí byť neporézna, čo zaisťuje jeho hrúbka. Smalty sú sklá, ktoré majú upravené vlastnosti tak, aby bola zabezpečená dobrá príľnavosť ku kovu. Pred smaltovaním musí byť povrch mechanicky alebo chemicky očistený. Nanášanie smaltu sa uskutočňuje máčaním, polievaním alebo striekaním suspenzie na povrch kovu. Potom sa sušia a vypaľujú. Vlastnosti vrstvy sú závislé na technológii, ktorá je použitá na smaltovanie. Podiel kryštalickej fázy a poréznosť ovplyvňujú ich mechanické vlastnosti. Sú krehké, čo zvyšuje pravdepodobnosť poškodenia vrstvy pri náraze. Úprava povrchu keramickým smaltovaním je najviac využívaná v potravinárskom a chemickom priemysle. Na obr. 3.1 je uvedený príklad využitia smaltového povlaku v domácnosti. [1, 10]



Obr. 3.1 Smaltované hrnčeky.

Na zvýšenie životnosti protikoróznou ochranou sa používajú konverzné vrstvy vznikajúce reakciou na rozhraní kovu s prostredím. Využívajú sa aj ako podklad pod nátery, pretože zvyšujú príľnavosť náteru a obmedzujú pod ním vznik korózie. Tieto vrstvy sa tvoria od povrchu smerom do vnútra materiálu. Patria sem oxidovanie, fosfátovanie, chromátovanie a alkalické kúpele. [1, 10]

#### Oxidácia kovov

K najstaršej metóde povrchovej úpravy patrí oxidácia kovov. Nazýva sa tiež farbenie kovov. Tvorba tenkých oxidických vrstiev sa docieľa ohriatím na vyššiu teplotu. Doba ohrevu a teplota ovplyvňuje hrúbku vrstiev, pohybuje sa od 500 nm do 800 nm. Oxidickými vrstvami sa získava korózna ochrana hliníku a hliníkových zliatin a estetický vzhľad povrchu. Minimalizovaním poréznosti povlaku sa dosiahne vysoká životnosť. Mechanicky je však tento povlak málo odolný. Najviac využívaná je metóda čiernenia. Pred týmto procesom je nutné mať povrch dobre mechanicky opracovaný, čiernením sa povrchové vady ešte zvýraznia. V závislosti na požadovanom konečnom vzhľade by mal byť materiál vhodne prichystaný, pretože kvôli malej hrúbke ochrannej vrstvy zvyčajne nie je možné dodatočné preleštenie. [1, 10]

### Fosfátovanie

Patrí medzi najviac rozšírené a ekonomicky výhodné formy chemických povrchových úprav ocelí. Metóda fosfátovania spočíva v tvorbe nerozpustných kryštalických fosforečnanov, ktoré dobre držia na povrchu kovu. Pred vlastnou fosfatizáciou je povrch kovu upravený odmastením, morením alebo mechanicky. Samotný proces trvá 5–10 minút, kedy je súčasť ponorená do kúpeľa o teplote okolo 60 °C. Po vybratí z kúpeľa sa súčasť oplachuje a suší. Iný spôsob nanášania ochrannej vrstvy je postrekom. Napriek dobrej koróznej odolnosti fosfátových vrstiev aj proti morskej vode, vrstvy nemajú najlepšie mechanické vlastnosti. Nie sú veľmi pevné, sú mäkké, takže sa dajú ľahko poškodiť, čo vedie k strate ich ochrannej schopnosti. Často sa využívajú ako povlak pod nátery, pretože na seba dobre viažu niektoré organické látky. Vzhľad vrstvy je celistvý, napriek tomu, že vrstva je vždy pórovitá, šedej až čiernej farby. [1, 10]

### Chromátovanie

Používa sa na zvýšenie odolnosti proti korózii neželezných kovov aj ocelí. Chromátové vrstvy vytvárajú bariéru medzi kovom a prostredím. Pri poškodení týchto vrstiev je dôležitým prvkom chróm, vďaka ktorému je možná obnova pasivačného filmu. Povlak je pevný, tvrdý, dobre prilhavý na podklad. Nemenej dôležitými vlastnosťami pre ochrannú funkciu povlaku je jeho neporéznosť a inhibičný účinok. Chromátové vrstvy môžu byť rôznych farieb v závislosti na chemickom zložení vrstvy. Môžu mať farby od čiernej cez jasnú modrú, žltú až môžu byť pri tenkých vrstvách úplne číre. [1, 10]

## 4 TVÁRNENIE

Pri výrobe gastronomických zariadení je výber vhodných technológií dôležitým faktorom. Nedodržaním špecifických postupov spracovania koróziivzdorných ocelí môže nastať ich porušenie, a tým zníženie odolnosti proti korózii. Nie je vhodné používať rovnaké technológie pri všetkých koróziivzdorných oceliach. Vhodnosť použitej technológie závisí na chemickom zložení a mechanických vlastnostiach ocelí. Medzi najčastejšie využívané technologické procesy na spracovanie koróziivzdorných ocelí v potravinárskom priemysle patrí plošné tvárnenie, v tejto kapitole budú podrobnejšie uvedené dve technológie – strihanie a hlboké ťahanie.

Tvárnenie je založené na mechanickej zmene tvaru východiskového polotovaru. Zmenou tvaru dochádza aj k zmene štruktúry a vlastností materiálu. Podľa teploty môže byť volený jeden z dvoch spôsobov tvárnenia. Tvárnenie za tepla prebieha pri vyšších teplotách, naopak tvárnenie za studena sa odohráva pri teplote okolia. Teplota rekryštalizácie je považovaná za hranicu medzi nimi. Podľa použitého polotovaru rozdeľujeme tvárnenie na plošné a objemové. O plošné tvárnenie sa jedná v prípade, ak je ako polotovar použitý plech či trubka. Do tejto skupiny patrí strihanie, hlboké ťahanie a ohýbanie. Polotovary s väčšou hrúbkou, napr. ingoty, sú spracovávané pomocou objemového tvárnenia. [12, 13, 14]

Vhodnosť plechov k plošnému tvárneniu závisí na jeho vlastnostiach. Tvárniteľnosť plechu je ovplyvnená najmä jeho chemickým zložením a mikroštruktúrou. Odolnosť proti korózii sa u plechov zabezpečuje povlakom z plastických hmôt. Ako základný materiál sa volí oceľový pozinkovaný plech z nízkouhlíkových ocelí alebo nerezový plech. [14]

### Tvárnenie za studena

Pre tvárnenie za studena je charakteristická zmena tvaru materiálu za pôsobenia tlaku pri normálnej teplote. Pôsobením tlaku vzniká v materiáli vnútorné pnutie, čo sa prejaví jeho spevnením. Vplyvom spevnenia sa menia aj vlastnosti materiálu. Narastá tvrdosť a pevnosť, naopak klesá tvárnosť a vrubová húževnatosť. Veľkou nevýhodou pri tvárnení za studena je pokles koróznej odolnosti. [12]

Kov je možné tvárniť len do vyčerpania plasticity materiálu, potom sa materiál začne vplyvom napätia trhať. Tvárnením za studena sa mení štruktúra tak, že sa zrná preťahujú a natáčajú v smere deformácie. Dosiahnutím určitej deformácie sa materiál nedá ďalej tvárniť, pokiaľ sa nevyrušia účinky predošlého tvárnenia. Obnova plastických vlastností sa dá dosiahnuť žíhaním nad rekryštalizačnú teplotu. [12]

### Tvárnenie za tepla

Cieľom tejto technológie je získanie polotovaru požadovaných rozmerov a materiál s lepšimi vlastnosťami. Využíva sa na výrobu vysoko namáhaných strojných súčastí, na ktoré sú kladené vyššie požiadavky z hľadiska životnosti i bezpečnosti. Najčastejším materiálom polotovarov spracovávaných tvárnením za tepla je oceľ. [12]

Zvýšením teploty pri tvárnení sa zvyšuje plasticita materiálu, klesá veľkosť pretvárneho odporu (odporu materiálu proti deformácii). Znížením pretvárnej pevnosti sa zmenší veľkosť pretvárnej práce, čo umožňuje tvárnenie pri menších silách. Celkový stupeň deformácie nie je obmedzený. Spodná hranica tvárnenia za tepla je teplota rekryštalizačná, z čoho vyplýva, že plasticita materiálu je neustále

obnovovaná. Voľba hornej hranice teploty je závislá na zložení a štruktúre materiálu. Prekročenie hraničnej teploty tvárnenia určitého materiálu spôsobuje opal, miestne spálenie materiálu, pri oceliach s vyšším obsahom uhlíku aj oduhlíčenie povrchovej vrstvy. Materiál je tvárnený v určitom rozsahu teplôt. Pri materiáli vyššej teploty ako teplota okolia dochádza k výmene tepla s okolím sálaním a pri dotyku s chladnejšími časťami tvárniaceho nástroja vedením. Dôsledkom toho je chladnutie tvárneného materiálu, preto sa materiál ohrieva viackrát medzi jednotlivými operáciami. Viacero ohrevov je nutné použiť pri úzkom rozmedzí tvárniacich teplôt, v závislosti na čase operácií a rozmeroch súčasti. [12, 13]

Tvárnením sa zjemní štruktúra a dosiahne sa pravidelné usporiadanie zŕn v smere deformácie. Nečistoty sa taktiež pravidelne zoskupia a narušia spojitosť zŕn vytvorením vlákien. Vlákňitosť spôsobuje smerové závislosti mechanických vlastností materiálu v smere kolmom a pozdĺžnom k vláknam. Vzhľadom na dosiahnutie priaznivých priebehov vlákien pri prevádzkových podmienkach a napätiach je volený určitý postup výroby. [12]

## 4.1 Strihanie

Technológia strihania je jedným z beztrieskových spôsobov oddelovania materiálu. Materiál sa delí pomocou protiľahlých nožov, vplyvom ktorých vzniká v materiáli strižné namáhanie. Strihanie sa delí na viacero základných operácií. Jednoduchým strihaním sa delí materiál na viacero častí. Dierovaním sa zhotovujú diery a o vystrihovanie sa jedná, ak je obrys výrobku (výstrižku) uzavretý. Odstrihnutie nadbytočného materiálu sa nazýva obstrihávanie. Pristrihovaním sa získava presný tvar výstrižku. Strižné nástroje sa skladajú zo strižníka a strižnice. Strižník vykonáva funkciu pohyblivého noža a strižnica funguje ako pevný nôž. Strižné nástroje môžu byť jednoduché, postupové, zlúčené a združené. Zlúčeným strižným nástrojom sa vykonáva viacero operácií v jednom kroku. Na združenom postupovom nástroji sa na jeden krok vykonáva niekoľko druhov tvárnenia. Medzi špeciálne spôsoby strihania patrí strihanie pomocou gumy a strihanie za vyššej rýchlosti. [12, 13, 14, 15]

Kvalita a hladkosť strižnej plochy sa dá dosiahnuť použitím technológie presného strihania. Vzniknutá strižná plocha je k rovine plechu kolmá a dá sa docieľiť rozmerová presnosť výrobku až IT6 pri hrúbke plechu od 0,5 mm do 1 mm. Nad hrúbku 6 mm je dosiahnuteľný stupeň presnosti IT9. Materiály vhodné na delenie touto technológiou sú hliník, meď a ich zliatiny, cementačné, nelegované a nízkolegované ocele, feritické a austenitické nehrdzavejúce ocele. Nevýhodou využitia uvedenej technológie je väčšia spotreba materiálu než pri klasickom spôsobe strihania. [14]

### Nástrihový plán

Pri plánovaní výroby je dôležitá voľba materiálu a je požadované maximálne využitie materiálu. Jedným z činiteľov využiteľnosti plechu je tvar výstrižku a jeho rozloženie na plechu. Množstvo potrebného materiálu sa určuje podľa rozvinutého tvaru výrobku. Zvolením optimálneho nástrihového plánu sa percentuálne zvýši využitie materiálu. Pri vytváraní nástrihového plánu je nutné určiť niekoľko parametrov. Usporiadanie výstrižkov na plechu, čím sa určí šírka pásu plechu či rozmer tabule. Pri navrhovaní veľkosti plechu sa musí počítať aj s veľkosťou postranného odpadu a šírky mostíku, ktoré sú závislé na hrúbke plechu. Stanovením počtu kusov, ktoré sa zmestia na daný polotovar a počtu zvitkov plechu alebo tabúl

potrebných na výrobu požadovanej série, sa dajú vypočítať priame náklady na výrobu jedného kusu. [13, 16, 17]

### Strižná sila

Ďalším nemenej dôležitým parametrom pri delení plechu je strižná sila. Strižná sila sa určí pomocou vzťahu (4.1) [17]:

$$F_s = k \cdot t \cdot l \cdot \tau_{ps} \text{ [N]} \quad (4.1)$$

kde:  $F_s$  [N] – strižná sila  
 $k$  [–] – súčiniteľ otupenia britov (1,2–1,5)  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu  
 $l$  [mm] – dĺžka strihu  
 $\tau_{ps}$  [MPa] – pevnosť materiálu v strihu

Pre oceľ sa pevnosť materiálu v strihu určí zo vzťahu (4.2) [17]:

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (4.2)$$

kde:  $\tau_{ps}$  [MPa] – pevnosť materiálu v strihu  
 $R_m$  [MPa] – pevnosť materiálu v ťahu

### Strižná medzera a strižná vôľa

Medzi strižníkom a strižnicou vzniká strižná medzera, ktorej veľkosť sa určí zo vzťahu (4.3). Tento vzťah platí pre plechy s hrúbkou do 3 mm. Hodnota koeficientu pre presné strihanie je 0,0007. Určením veľkosti strižnej medzery sa stanoví aj veľkosť vôľe pri uzavretom strihu. Strižná vôľa je dvojnásobkom strižnej medzery. [13, 17]

Vzťah na určenie strižnej medzery medzi strižníkom a strižnicou [13]:

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

kde:  $z$  [mm] – strižná medzera  
 $c$  [–] – koeficient závislý na druhu strihania  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu  
 $\tau_{ps}$  [MPa] – pevnosť materiálu v strihu

### Strižná práca

Veľkosť strižnej práce (4.4) sa stanoví na základe strižnej sily, hrúbky materiálu v metroch a hĺbky vniknutia strižných hrán do strihaného materiálu. Hodnoty súčiniteľu hĺbky vniknutia strižných hrán sú uvedené v prílohe 2. [24]

Vzťah na určenie požadovanej strižnej práce [24]:

$$A_s = F_s \cdot K_1 \cdot t \text{ [J]} \quad (4.4)$$

kde:  $A_s$  [J] – strižná práca  
 $F_s$  [N] – strižná sila  
 $K_1$  [–] – súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán  
 $t$  [m] – hrúbka plechu

## 4.2 Hlboké ťahanie rotačných výtlačkov

Technológia ťahania sa zaraďuje medzi plošné tvárnenie, pretože pri tomto procese nedochádza k zásadnej zmene hrúbky plechu. Podstatou ťahania je zmena plechu (rovinnej plochy) na duté teleso. Pokiaľ má výtlačok menšiu hrúbku steny ako bol východiskový materiál ide o ťahanie so stenčením steny. Podľa zložitosti výrobku a veľkosti stupňa pretvorenia sa volí jedno operačné alebo viac operačné ťahanie. Na realizáciu uvedenej technológie slúžia mechanické, postupové a hydraulické lisy. V niektorých prípadoch je vyžadované použitie špeciálnych zariadení. Ťahaním sa zhotovujú rôzne nádoby, veká a kryty. [12, 13, 14]

Proces ťahania pozostáva z dvoch fáz. Pretahovaním ťažníka cez ťažnicu sa ohne kruhový prístrih plechu (rondel) čím vznikne plytký valcový prelis. Súčasne prebieha zmena priemeru na menší rozmer. V momente, keď sa stredy polomerov zaoblenia hrán ťažníku a ťažnice dostanú do jednej roviny ťažná sila sa blíži ku svojej najvyššej hodnote, akú môže dosiahnuť. Vytváraním plášt'a valca začína druhá fáza. V tejto fáze dochádza k spevňovaniu materiálu. Dôsledkom je v určitom momente nárast ťažnej sily na maximum, potom sa postupne znižuje. [16]

Cieľom tejto operácie je vytvoriť výtlačok určitej kvality a požadovanej presnosti. Preto je dodržiavanie optimálnych parametrov, technologických aj konštrukčných, kľúčové. Rovnako je dôležitá voľba vhodného plechu, maziva, typu lisu a výhodnej geometrie funkčných častí nástroja použitého k ťahaniu. [16]

### Určenie prístrihu

U tenkých plechov sa veľkosť prístrihu určí pomocou zákona o konštantnom objeme. Vychádza z predpokladu, že objem materiálu pred ťahaním a po ňom je rovnaký. Stanovenie veľkosti prístrihu touto metódou nie je úplne presné, pretože výpočet nezahŕňa zaoblenia v rohoch výtlačku. Celková plocha povrchu sa vypočíta z vonkajších rozmerov výtlačku, rozdelením jeho kriviek na jednoduchšie útvary. Vypočítaná plocha sa zväčšuje približne o 10 %, pretože dochádza k nerovnomernej deformácii plechu. Tento prídavok slúži na to, aby pri vzniknutej cípatosti výtlačku bolo možné zarovnať okraje bez zmeny požadovaného tvaru a veľkosti. [16]

Priemer prístrihu valcovitého výtlačku sa určí pomocou vzťahu (4.5) [18]:

$$D = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h} \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

kde: D [mm] – priemer prístrihu  
 $d_s$  [mm] – stredný priemer výtlačku  
 h [mm] – výška výtlačku

### Použitie pridržiavača

Ďalším faktorom, ktorý má vplyv na kvalitu a presnosť výtlačku je pridržiavač. Väčšinou platí, že pri plytkom ťahaní pridržiavač nie je potrebný. Takmer vždy sa využíva pri hlbokotlačných plechoch do 0,5 mm. Pre hlbokotlačné ocelové plechy platí, že materiálová konštanta  $z$  je 1,9. Ak platí vzťah (4.6), použitie pridržiavača nie je nutné. [13, 16]

Vzťah na určenie potrebnosti použitia pridržiavača [13]:

$$\frac{d}{D} \cdot 100 > \alpha = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) [-] \quad (4.6)$$

kde:  $\alpha$  [-] – súčiniteľ určujúci použitie pridržiavača  
 $z$  [-] – materiálová konštanta  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu  
 $D$  [mm] – priemer prístrihu

Optimálna veľkosť sily pridržiavača bráni zvlneniu príruby tým, že pritlačí prístrih k ťažnici. Príliš veľký tlak pridržiavača spôsobuje trhliny až úplné pretrhnutie materiálu. Odporúčaná hodnota merného tlaku pre nerezové plechy je 2–5 MPa. [16]

Sila pridržiavača sa určí zo vzťahu (4.7) [16]:

$$F_{pr} = p \cdot S_{\xi} [\text{N}] \quad (4.7)$$

kde:  $F_{pr}$  [N] – sila pridržiavača  
 $p$  [MPa] – merný pridržiavací tlak  
 $S_{\xi}$  [mm<sup>2</sup>] – činná plocha materiálu pod pridržiavačom

#### Stanovenie geometrie nástroja

Napätie v materiáli je ovplyvnené polomerom zaoblenia ťažnice. Nesprávnou voľbou polomeru ťažnice môže dôjsť k vzniku vĺn, prípadne k pretrhnutiu materiálu, pretože tu má radiálne ťahové napätie svoje maximum. Pre prvý ťah sa polomer ťažnej hrany vypočíta zo vzťahu (4.8) [16]:

$$r_m = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot t} [\text{mm}] \quad (4.8)$$

kde:  $r_m$  [mm] – polomer ťažnej hrany ťažnice  
 $D$  [mm] – priemer prístrihu  
 $d$  [mm] – priemer výťazku  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu

Vplyv na proces ťahania majú aj zaoblenie ťažníku a vôľa medzi ťažnicou a ťažníkom. Vôľa ovplyvňuje veľkosť trenia vznikajúceho medzi ťažnicou a materiálom. Veľkosť jednostrannej vôle sa stanoví podľa vzťahu (4.9) [13]:

$$v = \frac{d_m - d_r}{2} [\text{mm}] \quad (4.9)$$

kde:  $v$  [mm] – ťažná vôľa  
 $d_m$  [mm] – priemer ťažnice  
 $d_r$  [mm] – priemer ťažníka



Stanovenie počtu operácií

Požadované tvary niektorých výtlačkov nie je možné dosiahnuť jednou ťažnou operáciou. Jedna operácia stačí pokiaľ je stupeň ťahania menší ako 0,55. Nad túto hodnotu je nutné viacoperačné ťahanie. [13]

Počet operácií potrebných pre výrobu konkrétnej súčiastky sa určí pomocou súčiniteľa ťahania, ktorý sa vypočíta zo vzťahu (4.10) [13]:

$$m = \frac{d}{D} = \frac{1}{K} \quad [-] \quad (4.10)$$

kde:  $m$  [-] – súčiniteľ ťahania  
 $d$  [mm] – priemer výtlačku  
 $D$  [mm] – priemer prístrihu  
 $K$  [-] – stupeň ťahania

Ťažná rýchlosť

Maximálna hodnota rýchlosti, ktorú možno použiť pri ťahaní závisí na materiáli výtlačku. Prekročením tejto hodnoty môže nastať poškodenie materiálu. Pri niektorých druhoch ťahania, napr. pri ťahaní explóziou je využívaná vysoká rýchlosť na dosiahnutie požadovaného výrobku. Pre koróziivzdornú austenitickú oceľ je optimálna hodnota ťahania 7 m/min. [18]

Ťažná sila

Napätie v ťahanej súčiastke je vyvolané ťažnou silou. Veľkosť maximálnej ťažnej sily je korigovaná súčiniteľom  $C$  (tab. 4.1) na jej skutočnú hodnotu, ktorá je obvykle nižšia. Ťažná sila sa v priebehu procesu ťahania mení, preto sa využíva najmä na kontrolu menovitej sily lisu. [14]

Veľkosť ťažnej sily valcových výtlačkov sa určí pomocou vzťahu (4.11) [14]:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (4.11)$$

kde:  $F_t$  [N] – ťažná sila  
 $C$  [-] – súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania s prihliadnutím na pomer  $t/D$   
 $t$  [mm] – hrúbka plechu  
 $d$  [mm] – priemer výtlačku  
 $R_m$  [MPa] – pevnosť materiálu v ťahu

Tab. 4.1 Vybrané hodnoty  $C$  pre valcové výtlačky bez príruby a s prírubou pre 1. ťah [13].

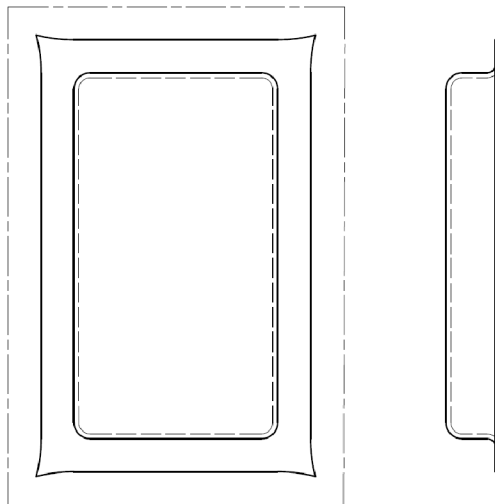
<b>m</b>	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,65</b>	<b>0,70</b>	<b>0,75</b>
<b>C bez príruby</b>	1,15	1,10	0,90	0,75	0,60
<b>C s prírubou</b>	0,70	0,50	0,47	0,37	0,28

### 4.3 Hlboké ťahanie nerotačných výťazkov

Pri ťahaní výťazkov nerotačných tvarov nevznikajú rovnaké napätia v stenách a rohových zaobleniach. V rohoch je predpokladaný približne rovnaký stav materiálu z hľadiska napätia ako pri rotačných nádobách s priemerom porovnateľným ich zaobleniu. V týchto miestach dochádza k najväčšiemu spevneniu materiálu, pretože v rohoch dochádza ku skutočnému ťahaníu materiálu. Zvislé steny nízkych pravouhlých výťazkov sú pri ťahaní ohýbané, čomu zodpovedá aj napätie v materiáli. U vyšších výťazkov dochádza ku komplikovanejšej deformácii. [14, 17, 18]

#### Určenie prístrihu

Stanoviť veľkosť a tvar prístrihu štvorcovému, obdĺžnikovému či nepravidelnému tvaru výťazku je zložitejšie ako pri valcových nádobách. Určením optimálneho tvaru prístrihu nedochádza k neprímeranému namáhaniu materiálu. Požadovaný tvar výťazku sa dosiahne najnižším možným počtom ťažných operácií. Súčasne sa šetrí materiálom rovnako ako u ťahania rotačných výťazkov. Vhodný tvar prístrihu eliminuje nutnosť neskoršieho obstrihávania po jednej operácii. Viacoperačné ťahanie väčšinou vyžaduje dodatočné obstrihnutie. Tvar a rozmery prístrihu sa stanovujú pomocou grafických či výpočtových metód alebo ich kombináciou. Pri plytkých výťazkoch, ktoré majú v rohoch pri dne väčšie zaoblenie sa volí prístrih väčší. Mohlo by dôjsť k jeho zvlnieniu, preto musí byť pridržiavaný väčšou silou. Podobný účinok má aj použitie brzdiacich líšt. Napriek tomu, že stanovenie presnejšieho tvaru prístrihu je možné, pri plytkých nádobách sa volí jednoduchý štvorcový alebo obdĺžnikový prístrih. U nádob o niečo hlbších môžu byť týmto tvarom navyše odstrihnuté a zaoblené rohy. [13, 18]



Obr. 4.1 Jednoduchý prístrih plytkého výťazku podľa [18].

Prístrih výťazku, ktorý je možné vyhotoviť jedným ťahom sa dá presnejšie určiť pomocou kombinácie výpočtovej a grafickej metódy. Hrany nerotačných výťazkov sú väčšinou zaoblené pri dne aj v rohoch a majú polomery  $R_d$  a  $R_s$ . Na základe vzťahu týchto polomerov, jestvujú možnosti ako rozvinúť rohové rádiusy výťazku [21]:

- Ak je  $R_d$  menšie ako  $R_s$ , pre výpočet polomeru zaoblenia prístrihu platí vzťah (4.12) [21]:

$$R = \sqrt{R_s^2 + 2 \cdot R_s(h' - 0,47 \cdot R_d)} \text{ [mm]} \quad (4.12)$$

- kde:  $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $R_s$  [mm] – polomer zaoblenia stien výťažku  
 $R_d$  [mm] – polomer zaoblenia dna výťažku  
 $h'$  [mm] – celková výška výťažku s prídavkom na obstrihnutie

Celková výška výťažku navýšená o materiál na obstrihnutie sa stanoví zo vzťahu (4.13). Odporúčaný prídavok na obstrihnutie je uvedený v tab. 4.2. [21]

Vzťah na výpočet celkovej výšky výťažku vrátane prídavku na obstrihnutie [21]:

$$h' = h + \Delta h \text{ [mm]} \quad (4.13)$$

- kde:  $h'$  [mm] – celková výška výťažku s prídavkom na obstrihnutie  
 $h$  [mm] – výška výťažku  
 $\Delta h$  [mm] – prídavok na obstrihnutie

Tab. 4.2 Prídavky na odstrihnutie v závislosti na pomere  $h / R_s$  a počtu ťahov [21].

$h / R_s$	ťah	$\Delta h$ [mm]
<b>2,50–7,00</b>	1.	$(0,03 \text{ až } 0,05) \cdot h$
<b>7,00–18,0</b>	2.	$(0,04 \text{ až } 0,06) \cdot h$
<b>18,0–18,0</b>	3.	$(0,05 \text{ až } 0,08) \cdot h$
<b>45,0–100</b>	4.	$(0,06 \text{ až } 0,10) \cdot h$

- Polomery zaoblenia  $R_d$  a  $R_s$  sú rovnako veľké, potom polomer zaoblenia prístrihu sa stanoví podľa vzťahu (4.14) [21]:

$$R = \sqrt{2 \cdot R_s \cdot h'} \text{ [mm]} \quad (4.14)$$

- kde:  $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $R_s$  [mm] – polomer zaoblenia stien výťažku  
 $h'$  [mm] – celková výška výťažku s prídavkom na odstrihnutie

- Pre nerotačné výťažky s prírubou na určenie polomeru zaoblenia prístrihu platí vzťah (4.15) [22]:

$$R = \sqrt{R_s \cdot (1,14 \cdot (R_d + R_e) + 2 \cdot h') + 0,14 \cdot (R_e^2 - R_s^2) + R_e^2} \text{ [mm]} \quad (4.15)$$

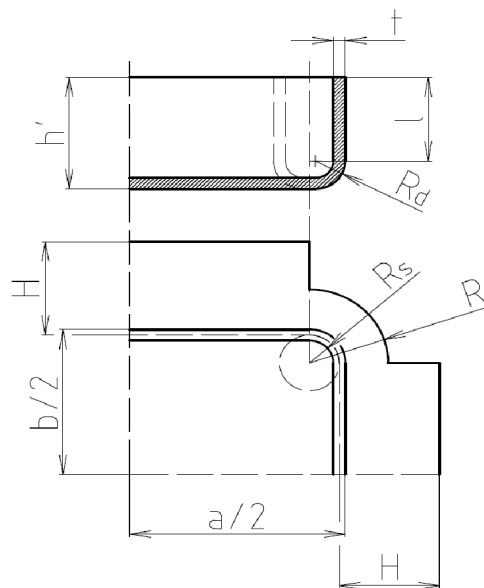
- kde:  $R_s$  [mm] – polomer zaoblenia stien  
 $R_d$  [mm] – polomer zaoblenia pri dne  
 $h'$  [mm] – celková výška výťažku s prídavkom na obstrihnutie  
 $R_e$  [mm] – polomer zaoblenia príruby  
 $R_b$  [mm] – polomer zaoblenia rohu príruby

Väčšina výt'ážkov má steny pri dne zaoblené. Dĺžka steny rozvinutej do roviny sa stanoví zo vzťahu (4.16) [21]:

$$H = l + 0,57 \cdot R_d \text{ [mm]} \quad (4.16)$$

kde:  $H$  [mm] – rozvinutá výška steny  
 $l$  [mm] – výška rovného úseku steny  
 $R_d$  [mm] – polomer zaoblenia dna výt'ážku

Poloha polomeru zaoblenia prístrihu, polomeru zaoblenia pri dne a medzi stenami je znázornená na obr. 4.2. Na obrázku sú označené aj rozmery výt'ážku, potrebné na určenie rozmerov prístrihu. Stred polomeru zaoblenia  $R$  a  $R_s$  je ten istý bod [21].



Obr. 4.2 Poloha jednotlivých polomerov a dôležitých rozmerov podľa [21].

Takýto tvar prístrihu nie je jeho konečnou podobou. Ostré prechody medzi hranami sa musia zaobliť, aby v týchto miestach nevznikali trhliny v materiáli. Konečný tvar prístrihu sa stanoví pomocou ďalších výpočtov a grafických úprav. Ako prvé sa stanoví rozvinutý tvar výt'ážku. V každom rohu sa určia kružnice so stredom v bode rovnakom ako je stred polomeru  $R_s$ . Veľkosť polomeru týchto kružníc sa stanoví zo vzťahov (4.17) a (4.18). [21, 23]

Výpočet koeficientu a veľkosti redukovaného polomeru prístrihu v rohu výt'ážku [21]:

$$x = 0,0185 \cdot \frac{R^2}{R_s^2} + 0,982 \text{ [-]} \quad (4.17)$$

kde:  $x$  [-] – koeficient  
 $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $R_s$  [mm] – polomer zaoblenia stien výt'ážku

$$R_p = R \cdot x \text{ [mm]} \quad (4.18)$$

kde:  $R_p$  [mm] – redukovaný polomer prístrihu v rohu výťazku  
 $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $x$  [–] – koeficient

Materiál sa pri ťahaní čiastočne premiestňuje zo zaoblených častí do rovných stien výťazku. Preto sa na každej strane doposiaľ stanovených rozmerov prístrihu zmenší o hodnoty  $H_{sa}$  (4.19) a  $H_{sb}$  (4.20), podľa príslušnej strany obdĺžnika stanoveného v prvom kroku. [13, 21]

Hodnoty  $H_{sa}$  a  $H_{sb}$  sa stanovujú podľa vzťahov [22]:

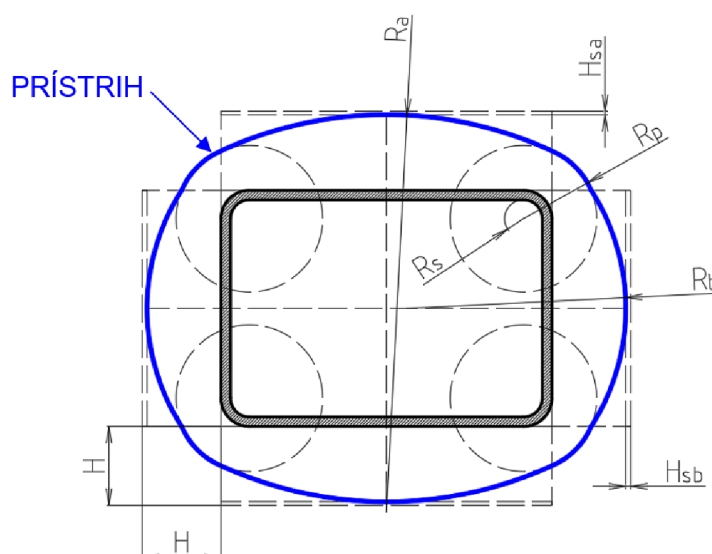
$$H_{sa} = 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a} \text{ [mm]} \quad (4.19)$$

kde:  $H_{sa}$  [mm] – zmenšenie rozvinutej výšky pri strane  $a$   
 $x$  [–] – koeficient  
 $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $a$  [mm] – veľkosť dlhšej strany obdĺžnika

$$H_{sb} = 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b} \text{ [mm]} \quad (4.20)$$

kde:  $H_{sb}$  [mm] – zmenšenie rozvinutej výšky pri strane  $b$   
 $x$  [–] – koeficient  
 $R$  [mm] – polomer zaoblenia prístrihu  
 $b$  [mm] – veľkosť kratšej strany obdĺžnika

Zostávajúce ostré hrany je nutné taktiež zaobliť. Polomery  $R_a$  a  $R_b$  sa stanovujú graficky (obr. 4.3). Pri navrhovaní tvaru a rozmerov prístrihu je užitočné počítať s opotrebovaním nástroja a pridať materiál navyše. Najviac sú pri ťahaní opotrebovávané rohy ťažnice, preto je dobré prístrih navrhnuť tak, aby hotový výťazok bol v rohoch o niečo vyšší. Opotrebovaním ťažnice môže nastať situácia, keď výťazok nebude mať v rohoch požadovanú výšku.



Obr. 4.3 Modifikovaný tvar prístrihu pre obdĺžnikový výťazok.

Stanovenie počtu operácií

Rovnako ako určenie tvaru prístrihu je neľahké aj správne určenie počtu operácií. Počet operácií je závislý na viacerých faktoroch. Jedným z nich sú rozmery prístrihu, výťažku a šírka príruby, ďalej veľkosti zaoblení v rohoch a pri dne, materiál, jeho hrúbka a iné. Maximálna výška výťažku pri jednej operácii je závislá na veľkosti zaoblenia v rohoch (tab. 4.3). Dosiahnuteľná výška výťažku je ovplyvnená aj hrúbkou plechu a použitím pridržiavača. [18]

Tab. 4.3 Závislosť maximálnej výšky výťažku na zaoblení v rohoch pre 1. ťah [18].

Veľkosť zaoblenia v rohoch $R_s$ [mm]	do 5	5–10	10–13	13–19	nad 19
Maximálna výška výťažku [mm]	$8R_s$	$7R_s$	$6R_s$	$5R_s$	$4R_s$

Ťažná sila

Maximálna veľkosť ťažnej sily na vytvorenie výťažku nerotačného tvaru sa stanoví podľa vzťahu (4.21).  $C_1$  je konštanta závislá na hĺbke výťažku. Pre plytké výťažky má hodnotu 0,5. Hlbšie výťažky, ktorých výška dosahuje päťnásobok polomeru zaoblenia prístrihu majú konštantu  $C_1=2$ . Konštanta  $C_2$  súvisí s veľkosťou pridržiavacieho tlaku. Pre normálny tlak nadobúda konštanta  $C_2$  hodnotu 0,3. [14]

Veľkosť ťažnej sily nerotačných výťažkov [14]:

$$F_t = t \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_s \cdot C_1 + L \cdot C_2) \text{ [N]} \quad (4.21)$$

kde:  $F_t$  [N] – ťažná sila  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu  
 $R_m$  [MPa] – medza pevnosti v ťahu  
 $R_s$  [mm] – polomer zaoblenia stien  
 $L$  [mm] – súčet dĺžok rovných častí stien výťažku  
 $C_1, C_2$  [–] – konštanty

Ťažná vôľa a ťažný polomer

V rohoch výťažku sa vplyvom prirodzeného presúvania materiálu volí ťažná vôľa o niečo vyššia ako vôľa v rovných častiach výťažku. Tým sa zníži pnutie v materiáli.

Vzťah na určenie ťažnej vôle v rohoch nerotačných výťažkov (4.22) [27]:

$$v = (1,30 \text{ až } 1,40) \cdot t \text{ [mm]} \quad (4.22)$$

kde:  $v$  [mm] – ťažná vôľa  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu

Vzťah na určenie ťažnej vôle v rovných úsekoch nerotačných výťažkov (4.23) [27]:

$$v = (1,15 \text{ až } 1,30) \cdot t \text{ [mm]} \quad (4.23)$$

kde:  $v$  [mm] – ťažná vôľa  
 $t$  [mm] – hrúbka plechu

Zaoblenie ťažnice sa každým ďalším ťahom znižuje. Pri použití hrubších plechov môže dôjsť k trhaniu materiálu, preto je vhodné zaoblenie dna v rohoch

zväčšiť. Pre obdĺžnikové a štvorcové výtäzky platí, že polomer zaoblenia ťažnice je šesťnásobok až desaťnásobok hrúbky materiálu. Polomer ťažníku v prvom ťahu je rovnaký ako polomer ťažnice. V poslednom ťahu sa určí podľa rozmerov výtäzku. [14]

#### Použitie pridržiavača a brzdiacich rebier

Pridržiavač slúži na to, aby nedošlo k zvlneniu príruby vplyvom napätia, ktoré pri ťahaní vzniká. Pridržiavač sa vždy využíva pri ťahaní nerotačných plytkých výtäzkov. V takomto prípade je dobré voliť väčší prístrih, aby pridržiavač plnil svoju funkciu aj v poslednej fáze ťahania. U nerotačných výtäzkov sa zníženie tlakového napätia dosiahne použitím brzdiacich rebier a líšt. Pri ťahaní nerotačných výtäzkov sa rebrá umiestňujú pozdĺž rovných častí výtäzku. Majú pozitívny vplyv na premiestňovanie materiálu, vyrovnávajú nerovnomernosť pribrzdzenia. Presné umiestnenie a množstvo rebier sa stanovuje odhadom, neskôr sa podľa skúšok ich rozmiestnenie môže upraviť. Môžu sa použiť rebrá zaoblené alebo pravouhlé. Pre plytké výtäzky do výšky 100 mm a výtäzky komplikovanejších tvarov sa odporúča použiť pravouhlé brzdiace rebrá. Na výške výtäzku závisí veľkosť ich polomeru (tab. 4.4). [18, 23]

Tab. 4.4 Odporúčané rozmery pravouhlých brzdiacich rebier [23].

Výška výtäzku [mm]	Polomer zaoblenia rebra [mm]	Šírka rebra [mm]	Výška rebra [mm]
Do 25 mm	1 až 2	12	8
Nad 25 mm	3 až 5	15	8

## 4.4 Mazivo

Mazivá sú v procese tvárnenia dôležité látky. Znižujú trenie medzi nástrojom a tvárneným materiálom, čím sa minimalizuje ich opotrebovanie. Zníženie účinkov trenia má priaznivý vplyv aj na životnosť nástroja. Mazivo utvára súvislý mazací film na povrchu materiálu, súčasne sa trením molekúl v mazive prenášajú sily – mazacia schopnosť maziva. Na mazivo je kladených viacero požiadaviek. Mazacia schopnosť je jednou z najdôležitejších. Pri ťahaní plechu medzi ďalšie požiadavky patrí schopnosť maziva dobre odvádzať vznikajúce teplo, zamedzenie korózie a v neposlednom rade zmiernenie opotrebovania trecích plôch. [29]

Voľba maziva je závislá na viacerých faktoroch. Pri ťahaní sa používa zmes pevných látok, oleja s pridaním mydla a vody. Celistvú mazaciu vrstvu tvorí mydlo s olejom a pridaním vody vzniká mydlová emulzia. Pomery týchto látok sa menia v závislosti na náročnosti danej operácie. Ďalšou možnosťou je použitie rastlinného oleja alebo voskového filmu a grafitu. [22, 29]

## 5 NÁVRH VÝROBY ZVOLENEJ SÚČASTI

Zvolená súčasť na výrobu je nádoba na potravu. Model vyrábanej súčasti zhotoveného v programe Autodesk Inventor Professional 2018 je na obr. 5.2. Túto súčasť je možné vyrábať viacerými technológiami. Pri požiadavkách, ktoré sú kladené na takýto druh súčastí je najvhodnejší spôsob výroby ťahaním. Pri ohýbaní a následnom zvaraní ohnutých častí dochádza k ovplyvneniu materiálu teplom. Dôsledkom môže byť zníženie odolnosti proti korózii, čo je v potravinárskom priemysle neprípustné. Tento postup nie je vhodný ani z ekonomického hľadiska. Model súčasti vychádza z tvaru a rozmerov typických pre gastronádoby (obr. 5.1).



Obr. 5.1 Gastronádoby.



Obr. 5.2 Model vyrábanej súčasti.



## 5.1 Voľba materiálu

Na výrobu bola zvolená súčasť z plnej nerezovej ocele X5CrNi 18-10 (17 240, 1.4301). Chemické zloženie je uvedené v tab. 2.3. Ide o nestabilizovanú austenitickú oceľ. Z hygienického hľadiska vyhovuje norme pre kontakt s potravinami a pitnou vodou, preto je najviac využívaná vo výrobe zariadení pre potravinársky priemysel. Odolnosť proti korózii v nie príliš extrémnych podmienkach (morská voda) je dobrá. Je zväratelná ale vplyv tepla pri zváraní zvyšuje tendenciu vzniku medzikryštálovej korózie. [20]

Vhodné spracovanie je pomocou tvárnenia – strihania, ťahania, ohýbania. Ťahanie za studena priaznivo pôsobí na pevnosť materiálu. Austenitická štruktúra sa premení na deformačný martenzit, čím sa zvýši pevnosť materiálu. Pomocou žihania je možné odstrániť zbytkový martenzit. Teplota žihania sa pohybuje v rozmedzí 1 000–1 100 °C. Chladí sa vodou, prípadne vzduchom. Nie je kaliteľná. Mechanické vlastnosti sú uvedené v tab. 5.1. [20]

Tab. 5.1 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi 18-10 [20].

<b>Pevnosť v ťahu <math>R_m</math> [MPa]</b>	520–720
<b>Medza skazu <math>R_{p0,2}</math> [MPa]</b>	210
<b>Ťažnosť <math>A_{80}</math> [%]</b>	45

## 5.2 Návrh prístrihu

### Ideálny prístrih

Na stanovenie rozmerov ideálneho prístrihu (obr. 5.3) sa vychádza zo vzťahov v kap. 4.1.3. Polomer zaoblenia stien je väčší ako polomer zaoblenia dna. Do výpočtov je zahrnutá aj príruha. Z vypočítaných hodnôt sa narysuje tvar ideálneho prístrihu. Prídavok na obstrihnutie je volený 2 mm podľa odporúčaných hodnôt uvedených v tab. 4.2. Obsah ideálneho prístrihu stanovený programom Autodesk AutoCAD 2020 je 116 113,75 mm<sup>2</sup>.

Rozmery súčasti potrebné k stanoveniu tvaru prístrihu:

- polomer zaoblenia strán:  $R_s = 40$  mm
- polomer zaoblenia dna:  $R_d = 10$  mm
- výška výt'ažku:  $h = 40$  mm
- polomer zaoblenia rohu príruby:  $R_c = 5$  mm
- polomer zaoblenia príruby:  $R_e = 5$  mm
- rozmery výt'ažku:  $a = 325$  mm,  $b = 265$  mm

Výpočet jednotlivých rozmerov prístrihu:

- Celková výška výt'ažku s prídavkami na obstrihnutie (4.13):  
 $h' = h + \Delta h = 40 + 2 = 42$  mm

- Polomer prístrihu R zahŕňajúci prírubu (4.15):

$$R = \sqrt{R_s \cdot (1,14 \cdot (R_d + R_e) + 2 \cdot h') + 0,14 \cdot (R_e^2 - R_s^2) + R_c^2}$$

$$R = \sqrt{40 \cdot (1,14 \cdot (10 + 5) + 2 \cdot 42) + 0,14 \cdot (5^2 - 40^2) + 5^2}$$

$$R = 62,04 \text{ mm}$$

- Rozvinutá výška steny spolu so zaoblením príruby stanovená podľa vzťahu (5.1):

$$H = l + 0,57 \cdot R_d + 0,57 \cdot R_e \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

kde: H [mm] – rozvinutá výška steny  
 l [mm] – výška rovného úseku steny  
 R<sub>d</sub> [mm] – polomer zaoblenia dna výťazku  
 R<sub>e</sub> [mm] – polomer zaoblenia príruby

$$H = l + 0,57 \cdot R_d + 0,57 \cdot R_e$$

$$H = 25 + 0,57 \cdot 10 + 0,57 \cdot 5$$

$$H = 33,55 \text{ mm}$$

- Veľkosť redukovaného polomeru prístrihu v rohu výťazku (4.18) určená pomocou koeficientu x stanoveného podľa vzťahu (4.17):

$$x = 0,0185 \cdot \frac{R^2}{R_s^2} + 0,982 = 0,0185 \cdot \frac{62,04^2}{40^2} + 0,982 = 1,027$$

$$R_p = R \cdot x = 73,79 \cdot 1,045 = 63,72 \text{ mm}$$

- Výpočet rozmerov H<sub>sa</sub> a H<sub>sb</sub>, o ktoré sa zmenší prístrih, stanovené podľa vzťahov (4.19) a (4.20):

$$H_{sa} = 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{a} = 0,785 \cdot (1,027^2 - 1) \cdot \frac{62,04^2}{325} = 0,51 \text{ mm}$$

$$H_{sb} = 0,785 \cdot (x^2 - 1) \cdot \frac{R^2}{b} = 0,785 \cdot (1,027^2 - 1) \cdot \frac{62,04^2}{265} = 0,62 \text{ mm}$$

- Veľkosť polomerov R<sub>a</sub> a R<sub>b</sub> je stanovená graficky:

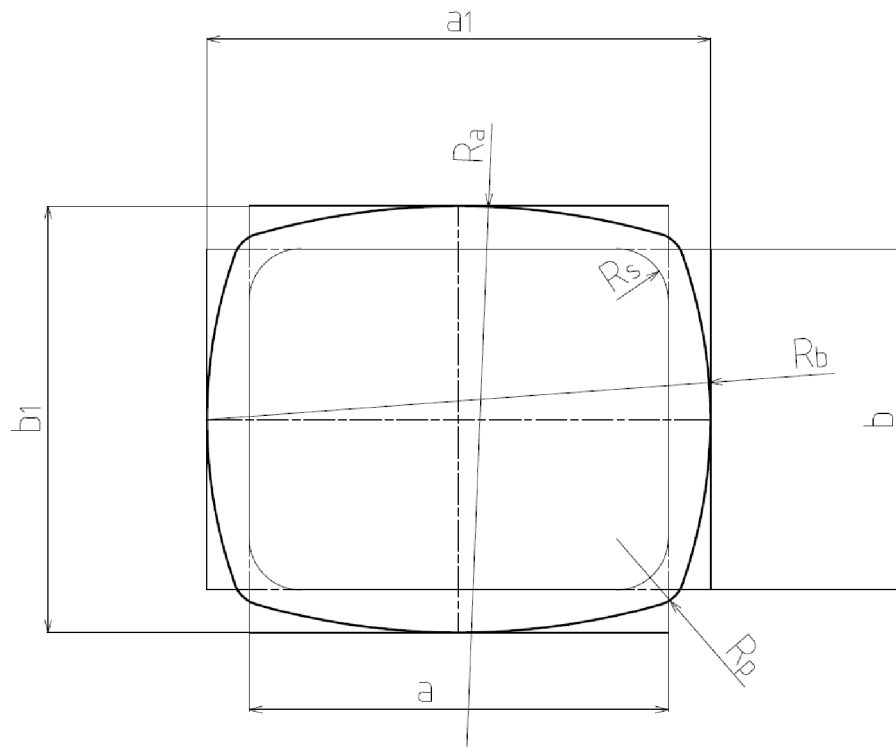
$$R_a = 575,01 \text{ mm}$$

$$R_b = 387,94 \text{ mm}$$

- Základné rozmery ideálneho prístrihu:

$$a_1 = 391 \text{ mm}$$

$$b_1 = 331 \text{ mm}$$

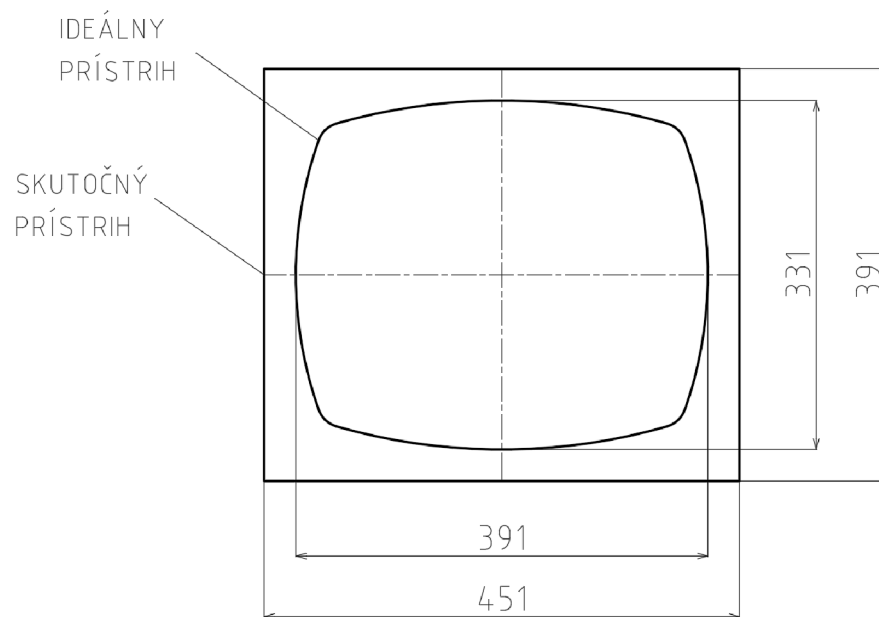


Obr. 5.3 Ideálny prístrih.

### Skutočný prístrih

Tvar ideálneho prístrihu je navrhovaný aj s prídavkom, ktorý neskôr bude musieť byť odstrihnutý. Na túto operáciu je nutné použiť ďalší nástroj, preto je zbytočné vystrihovať prístrih do jeho ideálneho tvaru. V praxi sa takýto typ súčastí ťahá z prístrihu jednoduchých tvarov (štvorec, obdĺžnik) a po vylisovaní sa prebytočný materiál odstrihne. Pri ťahaní plytkých výtlačkov musí byť použitý pridržiavač. Aby plnil svoju funkciu aj v poslednej fáze ťahania, jednoduchý prístrih sa volí o niečo väčší. V praxi sa zväčšenie prístrihu volí podľa uváženia technológa. Bežným postupom je overenie procesu tvárnenia pomocou simulačných programov a následne prevedenie skúšobného ťahu na konkrétnom ťažnom nástroji. Takýmto spôsobom sa odskúša, či nevznikajú vlny na nežiadúcich miestach. V prípade nevyhovujúceho prístrihu sa zmení jeho rozmer alebo sa zastrihnú rohy.

Rozmery zjednodušeného prístrihu sa volia na základe rozmerov ideálneho prístrihu. Prídavok na obstrihnutie je volený 30 mm z dôvodu použitia pridržiavača a brzdiacich rebier. Obsah skutočného prístrihu je 176 341 mm<sup>2</sup>. Rozmery jednoduchého prístrihu a jeho porovnanie s prístrihom ideálnym sú na obr. 5.4.



Obr. 5.4 Tvar a rozmery skutočného a ideálneho prístrihu.

### 5.3 Nástrihový plán

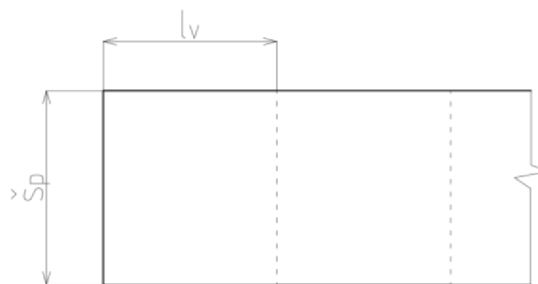
Nástrihový plán sa stanoví graficky podľa rozmerov a tvaru prístrihu. Na výrobu súčasti sa použijú tabule plechu. Prístrih sa umiestni na plech tak, aby bol materiál maximálne využitý. Vypracuje sa viacero variantov a určí sa ekonomicky najvýhodnejší.

Hrúbka plechu, z ktorého sa súčasť vyrába je 1 mm. Plech sa nastrihá na pásy potrebných rozmerov z tabule plechu. Nastrihané pásy sa delia na obdĺžniky. Vzhľadom na veľký prídavok na obstrihnutie a jednoduchý tvar prístrihu sa nevolí šírka mostíku ani okraje plechu. Strihanie prístrihu prebieha na tabuľových nožniciach. Vzniknutá strižná plocha nie je kvalitná, ale okraje budú po vylisovaní súčasti ešte obstrihované.

Rozmery potrebné na určenie najvýhodnejšieho nástrihového plánu:

- rozmery tabule:  $A = 2\,500\text{ mm}$ ,  $B = 1\,250\text{ mm}$
- hrúbka materiálu:  $t = 1\text{ mm}$
- rozmery výstrižku:  $a_v = 451\text{ mm}$ ,  $l_v = 391\text{ mm}$

Výstrižok je na páse umiestnený na výšku, rozloženie je znázornené na obr. 5.5. Šírka plechu má rozmer dlhšej strany obdĺžnikového prístrihu, dĺžka prístrihu má rozmer rovnako veľký ako strana kratšia. Tabuľa plechu môže byť na pásy delená po dĺžke alebo po šírke.



Obr. 5.5 Nástrihový plán.

Varianta A

Pásky sú z tabule plechu strihané po dĺžke (obr. 5.6).



Obr. 5.6 Rozloženie pásov na plechu – varianta A.

Ekonomické využitie východiskového materiálu:

- Počet pásov z jednej tabule sa určí podľa vzťahu (5.2):

$$p_{pt} = \frac{B}{\check{s}_p} [-] \quad (5.2)$$

kde:  $p_{pt}$  [-] – počet pásov z jednej tabule  
 $B$  [mm] – rozmer tabule  
 $\check{s}_p$  [mm] – šírka pásu

$$p_{pt} = \frac{B}{\check{s}_p} = \frac{1250}{451} = 2,77 \rightarrow 2 \text{ kusy}$$

- Počet výstrižkov z jedného pásu sa stanoví podľa vzťahu (5.3):

$$p_{vp} = \frac{A}{l_v} [-] \quad (5.3)$$

kde:  $p_{vp}$  [-] – počet výstrižkov z jedného pásu  
 $A$  [mm] – rozmer tabule  
 $l_v$  [mm] – rozmer výstrižku

$$p_{vp} = \frac{A}{l_v} = \frac{2500}{391} = 6,39 \rightarrow 6 \text{ kusov}$$

- Počet výstrižkov z tabule sa stanoví podľa vzťahu (5.4):

$$p_{vt} = p_{pt} \cdot p_{vp} [-] \quad (5.4)$$

kde:  $p_{vt} [-]$  – počet výstrižkov z tabule  
 $p_{pt} [-]$  – počet pásov z jednej tabule  
 $p_{vp} [-]$  – počet výstrižkov z jedného pásu

$$p_{vt} = p_{pt} \cdot p_{vp} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ kusov}$$

- Obsah výstrižku (kap. 5.2):

$$S_v = 176\,341 \text{ mm}^2$$

- Obsah tabule plechu (5.5):

$$S_t = A \cdot B [\text{mm}^2] \quad (5.5)$$

kde:  $S_t [\text{mm}^2]$  – obsah tabule plechu  
 $A [-]$  – rozmer tabule  
 $B [-]$  – rozmer tabule

$$S_t = A \cdot B = 2500 \cdot 1250 = 3\,125\,000 \text{ mm}^2$$

- Využitý materiál sa určí podľa vzťahu (5.6):

$$m_v = \frac{S_v \cdot p_{vt}}{S_t} \cdot 100 [\%] \quad (5.6)$$

kde:  $m_v [\%]$  – využitý materiál  
 $S_v [-]$  – obsah výstrižku  
 $p_{vt} [-]$  – počet výstrižkov z tabule  
 $S_t [\text{mm}^2]$  – obsah tabule plechu

$$m_v = \frac{S_v \cdot p_{vt}}{S_t} \cdot 100 = \frac{176341 \cdot 12}{3125000} \cdot 100 = 67,7 \%$$

### Variant B

Pásky sú z tabule plechu strihané po šírke (obr. 5.7).



Obr. 5.7 Rozloženie pásov na plechu – variant B.

Ekonomické využitie východiskového materiálu:

- Počet pásov z tabule (5.7):

$$p_{pt} = \frac{A}{\check{s}_p} [-] \quad (5.7)$$

kde:  $p_{pt}$  [-] – počet pásov z jednej tabule  
 $A$  [mm] – rozmer tabule  
 $\check{s}_p$  [mm] – šírka pásu

$$p_{pt} = \frac{A}{\check{s}_p} = \frac{2500}{451} = 5,54 \rightarrow 5 \text{ kusov}$$

- Počet výstrižkov z pásu (5.8):

$$p_{vp} = \frac{B}{l_v} [-] \quad (5.8)$$

kde:  $p_{vp}$  [-] – počet výstrižkov z jedného pásu  
 $B$  [mm] – rozmer tabule  
 $l_v$  [mm] – rozmer výstrižku

$$p_{vp} = \frac{B}{l_v} = \frac{1250}{391} = 3,20 \rightarrow 3 \text{ kusy}$$

Počet výstrižkov z tabule (5.4):

$$p_{vt} = p_{pt} \cdot p_{vp} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ kusov}$$

- Obsah výstrižku (kap. 5.2):

$$S_v = 176\,341 \text{ mm}^2$$

- Obsah tabule plechu (5.5):

$$S_t = A \cdot B = 2500 \cdot 1250 = 3\,125\,000 \text{ mm}^2$$

- Využitý materiál (5.6):

$$m_v = \frac{S_v \cdot p_{vt}}{S_t} \cdot 100 = \frac{176341 \cdot 15}{3125000} \cdot 100 = 84,6 \%$$

Na rovnako veľkú tabuľu plechu sa vo variante B zmestí viac kusov výstrižkov. Percentuálne využitie materiálu je vyššie o takmer 17 %, z čoho vyplýva, že výhodnejšie je strihať tabuľu na pásy podľa variantu B. Tabuľa plechu bude strihaná na 5 pásov dlhých 1 250 mm. Na každý pás sa zmestia 3 prístrihy.

## 5.4 Strihanie prístrihu

Navrhnutý prístrih má jednoduchý tvar – obdĺžnik. Na jeho vystrihnutie nie je potrebné navrhovať nástroj, postačia tabuľové nožnice. Tým bude najmä po ekonomickej stránke postup výroby výhodnejší. Z tabule plechu sa nastrihajú pásy o šírke 451 mm, potom sa jednotlivé pásy postrihajú na obdĺžniky s rozmermi 451 mm a 391 mm.

Stanovenie veľkosti strižnej sily a práce

Výpočet strižnej sily a strižnej práce na vystrihnutie pásu z tabule plechu:

- Pevnosť materiálu v strihu (4.2):  

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 620 = 457,2 \text{ MPa}$$
- Strižná sila (4.1) – súčiniteľ otupenia britov volený 1,3:  

$$F_s = k \cdot t \cdot l \cdot \tau_{ps} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1250 \cdot 457,2 = 742\,950,0 \text{ N}$$
- Strižná práca (4.4) – súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán je podľa prílohy 2 volený 0,35:  

$$A_s = F_s \cdot K_1 \cdot t = 742950 \cdot 0,35 \cdot 1 = 260\,032,5 \text{ J}$$

Výpočet strižnej sily a strižnej práce na vystrihnutie tvaru prístrihu z vystrihnutého pásu:

- Strižná sila (4.1) – súčiniteľ otupenia klinov je volený 1,3:  

$$F_s = k \cdot t \cdot l \cdot \tau_{ps} = 1,3 \cdot 1 \cdot 451 \cdot 457,2 = 268\,056,4 \text{ N}$$
- Strižná práca (4.4) – súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán je podľa prílohy 2 volený 0,35:  

$$A_s = F_s \cdot K_1 \cdot t = 268056,4 \cdot 0,35 \cdot 1 = 93\,819,7 \text{ J}$$

## 5.5 Parametre ťahania

Stanovenie počtu ťažných operácií

Vyrábaná súčasť je plytká, preto sa predpokladá, že bude ťahaná na jeden ťah. Overenie podľa tab. 4.3:

- Veľkosť zaoblenia v rohoch výtlačku:  

$$R_s = 40 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$
- Maximálna výška výtlačku (tab. 4.3):  

$$h_{max} = 4 \cdot R_s = 4 \cdot 40 = 160 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

Maximálna výška výtlačku pri daných rozmeroch výtlačku je 160 mm. Skutočná výška výtlačku je 40 mm, preto je možné výtlačok zhotoviť jedinou operáciou.

Určenie veľkosti ťažnej sily a použitia pridržiavača

Hodnoty konštant  $C_1$  a  $C_2$  sú volené podľa kap. 4.1.3. Vyrábaná súčasť je plytká, preto  $C_1=0,5$ . Materiál je počas ťahania pridržiavaný normálnym tlakom, ktorý pre plechy z nerezovej ocele nadobúda hodnôt 2–5 MPa. Pre výpočet je volená hodnota pridržiavacieho tlaku 3 MPa. Konštanta  $C_2$  pri použití normálneho pridržiavacieho tlaku je 0,3. Plocha materiálu pod pridržiavačom určená pomocou programu Autodesk AutoCAD je 138 432 mm<sup>2</sup>.

Výpočet celkovej ťažnej sily:

- Dĺžky priamych častí stien výtlačku:  

$$L = 2 \cdot 167 + 2 \cdot 227 = 788 \text{ mm}$$



- Ťažná sila (4.21):  

$$F_t = t \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_s \cdot C_1 + L \cdot C_2) = 1 \cdot 620 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 0,5 + 778 \cdot 0,3)$$

$$F_t = 222\,619,5 \text{ N}$$
- Pridržiavacia sila (4.7):  

$$F_{pr} = p \cdot S_\zeta = 3 \cdot 138432 = 415\,296 \text{ N}$$
- Celková sila:  

$$F_c = F_t + F_{pr} = 222619,5 + 415296 = 637\,915,5 \text{ N}$$

Pri lisovaní výtlačku je nutné použiť pridržiavač a pri rovných úsekoch aj brzdiace rebrá. Výtlačok je plytký, preto sú volené rebrá pravouhlé (kap. 4.3.5). Výška výtlačku je viac ako 25 mm, preto je volená šírka rebra 15 mm a výška 8 mm s polomerom zaoblenia 3 mm (tab. 4.4).

Podľa hodnoty celkovej sily je na výrobu súčasti volený hydraulický lis CYS 320, ktorý má lisovaciu silu 3 200 kN a je vhodný na ťahanie plechov za studena [26].

#### Stanovenie ťažnej vôle

Pri ťahaní výtlačku nerotačného tvaru nie je ťažná vôľa konštantná. V rohoch je väčšia ako pri rovných častiach výtlačku.

Výpočet ťažnej vôle a ťažného polomeru:

- Ťažná vôľa v rohoch súčasti (4.22):  

$$v = 1,30 \cdot t = 1,30 \cdot 1 = 1,30 \text{ mm}$$
- Ťažná vôľa v rovných úsekoch (4.23):  

$$v = 1,15 \cdot t = 1,15 \cdot 1 = 1,15 \text{ mm}$$

#### Stanovenie zaoblenia hrán ťažného nástroja

Veľkosti polomerov zaoblenia ťažnice a ťažníku:

- Polomer zaoblenia ťažnice v prvom ťahu je volený osemnásobok hrúbky materiálu (kap. 4.3.4):  

$$r_m = 8 \cdot t = 8 \cdot 1 = 8 \text{ mm}$$
- Polomer zaoblenia ťažníku pri dne je volený podľa zaoblenia výtlačku:  

$$r_r = R_d = 10 \text{ mm}$$

#### Použitie mazivo

Pred procesom je na plech nanášané mazivo. Zvolené mazivo má označenie GLEIT- $\mu$  TZ 316 od firmy Nacházel. Použitie maziva je vhodné pri tvárniacich operáciách za studena. Táto emulzia je homogénna kvapalina. Mazacia schopnosť je veľmi dobrá, minimalizuje vznik rýh počas procesu. Dobré odvádza teplo, protikorózna ochrana je postačujúca. Používa sa v konzistencii ako je dodané. Nanáša sa jednoducho štetcom alebo valčekom, či automaticky. Zostatok maziva nie je obtiažné odstrániť, stačia zvyčajné spôsoby čistenia v priemysle. Neobsahuje minerálne oleje, ktoré sú vyrábané z ropy, takže je biologicky odbúrateľné. [31]

## 5.6 Obstrihnutie príruby

Rozmer prístrihu je volený väčší, aby prípadné vlny vznikali na miestach, ktoré budú neskôr odstrihnuté. Na obstrihnutie príruby do požadovaného tvaru je nutné poznať ďalšie parametre ako strižná sila a práca, strižná medzera a strižná vôľa. Vzťahy na výpočet týchto hodnôt sú uvedené v kap. 4.1.1.

### Určenie veľkosti strižnej medzery a strižnej vôle

Veľkosť súčiniteľa  $c$ , ktorého hodnota závisí od druhu strihania má pre presné strihanie hodnotu 0,0007 (kap. 4.1.1). Hrúbka plechu je 1 mm, preto pre výpočet strižnej medzery a vôle platia vzťahy:

- Strižná medzera (4.3):  

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{457,2} = 0,0048 \text{ mm}$$
- Strižná vôľa (kap. 4.1.1):  

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,0048 = 0,0096 \text{ mm}$$

Použitý vzťah na výpočet strižnej medzery sa väčšinou používa pre strihanie s vyššou presnosťou. V prípade obstrihnutia príruby nie je nutné použiť takýto presný výpočet. Príliš malá strižná vôľa zvyšuje nároky na presnosť výroby strižného nástroja, čím sa zvýši jeho cena.

Na stanovenie reálnej strižnej vôle je možné použiť vzťah bežne používaný na takýto typ strihu. Veľkosť strižnej vôle sa v praxi určuje ako 5 % z hrúbky plechu.

V tomto prípade veľkosť strižnej vôle je:

$$v = 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ mm}$$

Veľkosť strižnej vôle 0,05 mm je dostatočná pre požadovanú presnosť vyrábanej súčasti.

### Stanovenie veľkosti strižnej sily a práce

Na výpočet veľkosti potrebnej strižnej sily je nutné poznať pevnosť materiálu v strihu a súčet dĺžok všetkých hrán, ktoré budú strihané. V prípade zvolenej súčasti je dĺžka strihu obvod príruby riešenej súčasti. Obvod príruby nádoby je určený pomocou programu Autodesk AutoCAD 2020 na hodnotu 1171,42 mm. Súčiniteľ otupenia britov  $k$  je volený 1,3 (kap. 4.1.1). Medza pevnosti v ťahu je volená stredná hodnota z rozsahu pevnosti materiálu  $R_m = 620 \text{ MPa}$  (kap. 5.1).

Stanovenie strižnej sily a strižnej práce:

- Pevnosť materiálu v strihu (4.2):  

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 620 = 457,2 \text{ MPa}$$
- Strižná sila (4.1):  

$$F_s = k \cdot t \cdot l \cdot \tau_{ps} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1171,42 \cdot 457,2 = 696\,245,2 \text{ N}$$
- Strižná práca (4.4) - súčiniteľ  $K_1 = 0,35$  (príloha 2):  

$$A_s = F_s \cdot K_1 \cdot t = 696\,245,2 \cdot 0,35 \cdot 0,001 = 243,7 \text{ J}$$

Na základe vypočítanej veľkosti strižnej sily a práce je na strihanie výstrižku volený excentrický lis LEXN 100 C s menovitou silou 1 000 kN [25].

## 5.7 Návrh technologického postupu výroby

Pred začiatkom výroby sa môžu vybrať náhodné kusy tabúl' a overí sa na nich kvalita mechanických vlastností materiálu. Na tabuľových nožniciach sa z tabule nastrihajú pásy plechu. Z pásu sa nastrihajú jednoduché prístrihy (kap. 5.2), tiež na tabuľových nožniciach. Vystrihnutý prístrih sa natrie mazivom GLEIT- $\mu$  TZ 316 a vloží sa do lisu. Na lise CYS 320 sa hlbokým ťahaním dosiahne požadovaný polotovar, určený na obstrihnutie. Obsluhujúci pracovníci skontrolujú, či výrobok nie je zmätok alebo na ňom nie sú viditeľné vady. Ak výrobok spĺňa všetky požiadavky, je ďalej vložený do lisu LEXN 100 C, kde je prevedená ďalšia operácia – obstrihnutie príruby. Po obstrihnutí príruby je výrobok zbavený ostrých hrán. Potom sa výrobok odmastí a znovu sa skontroluje. Ak si zákazník zvolí povrchovo upravenú verziu nádoby, po odmastení prebehne proces smaltovania. Výrobok sa zabalí a je pripravený na prepravu k zákazníkovi. Jednotlivé kroky sú stručne zhrnuté v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Postup výroby.

Poradie operácie	Operácia	Použitý stroj
1.	Kontrola	
2.	Vystrihnutie prístrihu	Tabuľové nožnice
3.	Nanesenie maziva	
4.	Hlboké ťahanie	Lis CYS 320
5.	Kontrola	
6.	Obstrihnutie príruby	Lis LEXN 100 C
7.	Odstránenie ostrín	
8.	Odmastenie	
9.	Smaltovanie (voliteľné)	
10.	Kontrola	
11.	Balenie	

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE VÝROBY

Zhodnotenie výroby z ekonomického hľadiska umožňuje porovnávať jednotlivé varianty výroby. Zameriava sa len na náklady potrebné na výrobu stanovenej série či jedného kusu výrobku. Aby bola suma nákladov čo najnižšia, odpad materiálu a počet zrážok musí byť čo najmenší, v ideálnom prípade až nulový. Na presné stanovenie ceny výroby jedného výt'azku je potrebné poznať cenu materiálu, nákupnú a prevádzkovú cenu strojov, odber energie, mzdu pracovníkov, ktorí sú zodpovedný za správny chod strojov a ďalšie faktory ovplyvňujúce náklady.

V tejto práci sú náklady počítané na výrobnú sériu 100 000 ks ročne. Náklady na výrobu sú stanovené len orientačne. Do ekonomického zhodnotenia sú zahrnuté celkové náklady na výrobu a zisk z predaja. Medzi celkové náklady patria priame a nepriame (režijné) náklady. Za fixné náklady sa považuje cena nástrojov zakúpených na výrobu danej súčasti. Cena strojov nie je započítaná, pretože sa predpokladá, že firma tieto stroje vlastní.

### 6.1 Priame náklady

Medzi priame náklady sa zaraďuje množstvo materiálu potrebného na výrobu, náklady na prevádzkovanie strojov a zariadení, spotreba energie nutná na chod strojov, opätovné zhodnotenie odpadového materiálu. Patria sem aj fixné náklady na zaobstaranie vhodných výrobných nástrojov, avšak tie sa k celkovej sume výrobku pripočítajú až na koniec.

Priame náklady na výrobu stanovenej série:

- Potrebný počet tabúl' na sériu sa určí podľa vzťahu (6.1):

$$p_t = \frac{VS}{p_{vt}} [-] \quad (6.1)$$

kde:  $p_t$  [-] – počet tabúl'  
 $VS$  [-] – výrobná séria  
 $p_{vt}$  [-] – počet výstrižkov z tabule

$$p_t = \frac{VS}{p_{vt}} = \frac{100000}{15} = 6666,67 \rightarrow 6\,667 \text{ tabúl'}$$

- Náklady na materiál sa určia z ceny za 1 kg plechu. Jedna tabuľa má hmotnosť 25 kg. Cena za 1 kg je 3,6 € [30].

Náklady na potrebný materiál sa určia zo vzťahu (6.2):

$$N_{mat} = p_t \cdot m_t \cdot c_{kg} [\text{€}] \quad (6.2)$$

kde:  $N_{mat}$  [€] – náklady na materiál  
 $p_t$  [-] – počet tabúl'  
 $m_t$  [kg] – hmotnosť tabule  
 $c_{kg}$  [€] – cena za 1 kg plechu

$$N_{mat} = p_t \cdot m_t \cdot c_{kg} = 6667 \cdot 25 \cdot 3,6 = 600\,030 \text{ €}$$

Hmotnosť nadbytočného materiálu (6.3):

$$m_o = p_t \cdot m_t \cdot (1 - m_v) \text{ [kg]} \quad (6.3)$$

kde:  $m_o$  [kg] – hmotnosť odpadového materiálu  
 $p_t$  [-] – počet tabúlí  
 $m_t$  [kg] – hmotnosť tabule  
 $m_v$  [-] – využitie materiálu

$$m_o = p_t \cdot m_t \cdot (1 - m_v) = 6667 \cdot 25 \cdot (1 - 0,846) = 25\,668 \text{ kg}$$

Vrátené náklady za odpadový materiál pri predpoklade ceny materiálu za 1 kg 3,6 € (6.4):

$$N_o = m_o \cdot c_{kg} \text{ [€]} \quad (6.4)$$

kde:  $N_o$  [€] – vrátené náklady za odpadový materiál  
 $m_o$  [kg] – hmotnosť odpadového materiálu  
 $c_{kg}$  [€] – cena za 1 kg plechu

$$N_o = m_o \cdot c_{kg} = 25668 \cdot 3,6 = 92405 \text{ €}$$

- Odhadované náklady na prevádzku stroja na strihanie:  $N_{s1} = 2\,000 \text{ €}$
- Odhadované náklady na prevádzku stroja na ťahanie:  $N_{s2} = 2\,000 \text{ €}$
- Odhadované náklady na spotrebu elektrickej energie:  $N_e = 200 \text{ €}$
- Celkové priame náklady (6.5):

$$N_{pc} = N_{mat} - N_o + N_{s1} + N_{s2} + N_e \text{ [€]} \quad (6.5)$$

kde:  $N_{pc}$  [€] – celkové priame náklady  
 $N_{mat}$  [€] – náklady na materiál  
 $N_o$  [€] – vrátené náklady za odpadový materiál  
 $N_s$  [€] – náklady na prevádzku strojov  
 $N_e$  [€] – náklady na elektrickú energiu

$$N_{pc} = N_{mat} - N_o + N_{s1} + N_{s2} + N_e = 600030 - 92405 + 2000 + 2000 + 200 = 511\,825 \text{ €}$$

- Náklady na výrobu jedného výrobku (6.6):

$$N_{p1} = \frac{N_{pc}}{VS} \text{ [€]} \quad (6.6)$$

kde:  $N_{p1}$  [€] – priame náklady na jeden výrobok  
 $N_{pc}$  [€] – celkové priame náklady  
 $VS$  [-] – výrobná séria (100000 ks)

$$N_{p1} = \frac{N_{pc}}{VS} = \frac{511825}{100000} = 5,12 \text{ €}$$

- Odhadované náklady na strižný nástroj (fixné náklady):  $N_{f1} = 3\,500 \text{ €}$
- Odhadované náklady na ťažný nástroj (fixné náklady):  $N_{f2} = 3\,500 \text{ €}$

## 6.2 Režijné náklady

Režijné náklady sú náklady na zabezpečenie chodu firmy. Patria sem mzdy pracovníkov, ktorí sa nepriamo podieľajú na výrobe (skladníci, účtovníci), náklady na dopravu materiálu, pracovnej sily, osvetlenie, kúrenie a iné výdavky firmy.

Pri predpoklade výroby danej súčasti v menšom podniku sa výrobná réžia odhaduje na 200 % a správna réžia na 110 %. Vo väčšom podniku môže výrobná réžia dosahovať aj 350 %. [22]

Hodnota režijných nákladov sa stanoví podľa vzťahu (6.7) [22]:

$$N_r = N_{p1} \cdot VS \cdot (VR + SR) \text{ [€]} \quad (6.7)$$

kde:  $N_r$  [€] – režijné náklady  
 $N_{p1}$  [€] – priame náklady na jeden výrobok  
 $VS$  [–] – výrobná séria (100 000 ks)  
 $VR$  [–] – výrobná réžia (200 %)  
 $SR$  [–] – správna réžia (110 %)

$$N_r = N_{p1} \cdot VS \cdot (VR + SR) = 5,12 \cdot 100000 \cdot (2 + 1,1) = 1\,587\,200 \text{ €}$$

## 6.3 Celkové náklady

Celkové náklady sú súčtom všetkých nákladov, ktoré priamo či nepriamo vznikajú pri výrobe súčasti.

Určenie celkových nákladov:

- Celkové náklady na celú sériu sa určia zo vzťahu (6.8):

$$N_c = N_{pc} + N_{f1} + N_{f2} + N_r \text{ [€]} \quad (6.8)$$

kde:  $N_c$  [€] – celkové náklady  
 $N_{pc}$  [€] – celkové priame náklady  
 $N_{f1}$  [€] – fixné náklady za strižný nástroj  
 $N_{f2}$  [€] – fixné náklady za ťažný nástroj  
 $N_r$  [€] – režijné náklady

$$N_c = N_{pc} + N_{f1} + N_{f2} + N_r = 511825 + 3500 + 3500 + 1587200 = 2\,101\,825 \text{ €}$$

- Celkové náklady na jeden výrobok (6.9):

$$N_{c1} = \frac{N_c}{VS} \text{ [€]} \quad (6.9)$$

kde:  $N_{c1}$  [€] – celkové náklady na jeden výrobok  
 $N_c$  [€] – celkové náklady  
 $VS$  [–] – výrobná séria (100 000 ks)

$$N_{c1} = \frac{N_c}{VS} = \frac{2101825}{100000} = 21,02 \text{ €}$$

K celkovej sume nákladov sa ešte pripočítajú náklady na mazivo a dokončovacie práce.

- Z celkových nákladov na výrobu súčasti sa určuje cena výrobku. Každá firma si určuje zisk, ktorý chce za rok dosiahnuť.

Stanovenie sumy výrobku pri zisku 10 % ročne (6.10):

$$c_1 = N_{c1} \cdot 1,1 \text{ [€]} \quad (6.10)$$

kde:  $c_1$  [€] – cena jedného výrobku  
 $N_{c1}$  [€] – celkové náklady na jeden výrobok  
 VS [-] – výrobná séria (100 000 ks)

$$c_1 = N_{c1} \cdot 1,1 = 21,02 \cdot 1,1 = 23,12 \text{ €}$$

- Dosiahnutím rovnovážneho stavu sa vyrovnajú náklady a zisky firmy. Rovnovážny bod určuje počet predaných kusov, ktoré uvedú firmu do rovnovážneho stavu. Rovnovážny bod sa stanoví podľa vzťahu (6.11) [22]:

$$RB = \frac{N_{f1} + N_{f2}}{c_1 - N_{c1}} \text{ [-]} \quad (6.11)$$

kde: RB [-] – rovnovážny bod  
 $N_{f1}$  [€] – fixné náklady za strižný nástroj  
 $N_{f2}$  [€] – fixné náklady za ťažný nástroj  
 $c_1$  [€] – cena jedného výrobku  
 $N_{c1}$  [€] – celkové náklady na jeden výrobok

$$RB = \frac{N_{f1} + N_{f2}}{c_1 - N_{c1}} = \frac{3500 + 3500}{23,12 - 21,02} = 3\,334 \text{ ks}$$

V tab. 6.1 sú zhrnuté náklady na výrobu stanovenej série 100 000 ks/rok a výrobné náklady stanovené na jeden kus.

Tab. 6.1 Náklady na výrobu.

Náklady	Suma za sériu [€]	Suma za 1 kus [€]
Priame	511 825	5,12
Priame fixné	7 000	
Režijné	1 587 200	
Celkové	2 101 825	21,02
Celkové so ziskom 10 %	2 312 008	23,12

## 7 DISKUSIA

Navrhovaná súčasť nie je totožná s reálnou, ktorá sa vyrába. Pre potreby bakalárskej práce bola navrhnutá výroba zjednodušeného modelu, ktorý neobsahuje obvodový prelis a iné detaily. Základné rozmery sú štandardizované, vnútorné rozmery a zaoblenia sú volené podľa vlastného uváženia. Každý výrobca si volí veľkosť zaoblení, šírku príruby, sklon stien a celkový dizajn výrobku.

Návrh výroby je teoretický a navrhnutá súčasť sa nebude vyrábať. V praxi sa pri navrhovaní výroby podobných súčastí navrhne nástroj, prístrih sa určí len približne a odskúša sa vhodnosť tvaru a rozmerov prístrihu v simulačných programoch. Pri vzniku vln, trhlín alebo iných väd sa prístrih upraví, prípadne sa zmenia parametre jednotlivých operácií a opäť prebehne odskúšanie, kým sa nedosiahne požadovaný výsledok.

Cena za jeden kus výrobku je stanovená na 23,12 €. Predajná cena reálneho výrobku sa pohybuje od 12 do 25 €. Preto sa predpokladá výroba oveľa väčších sérií za rok. Tým sa niekoľkonásobne zvýši odber materiálu. Pri kúpe veľkého množstva materiálu je možné ho nakúpiť za nižšiu cenu za kilogram, podľa ponuky dodávateľa. Rovnako aj stroje využívané na výrobu danej súčasti sú využívané aj na výrobu iných výrobkov, čím výrazne klesnú náklady na výrobu daného kusu, a tým aj predajná cena výrobku. Môže sa líšiť aj typ ocele a hrúbka materiálu podľa účelu a využitia.



## ZÁVER

Táto bakalárska práca bola zameraná na výrobu gastronomického zariadenia z koróziivzdornej ocele. Práca sa zameriava na všeobecný popis korózie, charakteristiky koróziivzdorných ocelí a ich rozdelenie a povrchové úpravy zamedzujúce korózii preniknúť do materiálu. Ďalej je zameraná na vhodné technológie na spracovanie koróziivzdorných ocelí a cieľom práce bolo navrhnúť postup výroby gastronomického zariadenia – nádoby na potravu. Navrhnutý bol technologický postup výroby nádoby nerotačného tvaru s prírubou. Nádoba má byť vhodná na používanie v gastronomických prevádzkach, čo bolo zohľadnené aj vo voľbe materiálu. Návrh výroby zahŕňa technológie strihania a hlbokého ťahania.

Výsledky návrhu technologického postupu výroby súčasti sú zosumarizované v nižšie uvedených bodoch:

- Materiál navrhnutý na výrobu súčasti bola chróm-niklová austenitická koróziivzdorná oceľ X5CrNi 18-10, ktorá je z hygienického hľadiska vhodná na použitie v potravinárskom priemysle pri priamom kontakte s potravinami.
- Tvar prístrihu bol stanovený na jednoduchý obdĺžnik s rozmermi 391 × 451 mm. Tieto rozmery vychádzali z rozmerov ideálneho prístrihu, stanoveného podľa postupu uvedeného v teoretickej časti na základe literatúry uvedenej v zozname použitej literatúry.
- Na vystrihnutie prístrihu boli použité tabuľové nožnice. Na strihanie pásov dlhých 1 250 mm a širokých 451 mm z tabule plechu 1 250 × 2 500 mm je potrebná strižná sila 742 950 N. Prístrih z pásu plechu je strihaný strižnou silou 268 056,4 N.
- Technológiou hlbokého ťahania bol prístrih vytvarovaný do dutej nádoby s prírubou na lise CYS 320 s lisovacou silou 3 200 kN. Tento lis bol navrhnutý na základe vypočítanej celkovej ťažnej sily 637 915,5 N.
- Obstrihnutie príruby vyžaduje strižnú silu 696 245,2 N, preto bol na prevedenie tejto operácie navrhnutý lis LEXN 100 C s menovitou silou 1 000 kN.
- Ekonomické zhodnotenie výroby je stanovené orientačne, nakoľko sa jedná len o návrh výrobného postupu a nie o výrobu v konkrétnej firme. Nedajú sa preto určiť presné údaje o počte pracovníkov a ich mzdách, spotrebe elektrickej energie, zisky firmy a iné.

---

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

1. BARTONIČEK, Robert. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. Praha: Academia, 1966.
2. ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, 1999. ISBN 8020006710.
3. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.
4. HOSFORD, William F. *Stainless Steels*. In: *Iron and Steel* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012 [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/iron-and-steel/stainless-steels/C01B421CBC4D35B52D77F0EC2910C2A3>
5. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
6. MCGUIRE, Michael F. *Stainless Steels for Design Engineers* [online]. Ohio: ASM International, 2008 [cit. 2020-02-23]. ISBN 978-0-87170-717-8. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSSDE0007/cid:kt008GRN74/viewerType:khtml//root\\_slug:front-matter/url\\_slug:front-matter?issue\\_id=kpSSDE0007&hierarchy=&b-toc-cid=kpSSDE0007&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Stainless%20Steels%20for%20Design%20Engineers&page=1&view=collapsed&zoom=1](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSSDE0007/cid:kt008GRN74/viewerType:khtml//root_slug:front-matter/url_slug:front-matter?issue_id=kpSSDE0007&hierarchy=&b-toc-cid=kpSSDE0007&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Stainless%20Steels%20for%20Design%20Engineers&page=1&view=collapsed&zoom=1)
7. CHÁRA, T. *Korozivzdorné oceli* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011 [cit. 2020-02-26]. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Zmrzlý, Ph.D. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=37178](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37178)
8. BAI, Yong a Qiang BAI. *Subsea Engineering Handbook* [online]. 2. vyd. Elsevier, 2019 [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-0-12-812622-6. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSEHE0001/cid:kt011Y4U91/viewerType:khtml//root\\_slug:front-matter/url\\_slug:front-matter?b-toc-cid=kpSEHE0001&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Subsea%20Engineering%20Handbook%20\(2nd%20Edition\)&page=last&view=collapsed&zoom=1](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSEHE0001/cid:kt011Y4U91/viewerType:khtml//root_slug:front-matter/url_slug:front-matter?b-toc-cid=kpSEHE0001&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Subsea%20Engineering%20Handbook%20(2nd%20Edition)&page=last&view=collapsed&zoom=1)
9. COLPAERT, Hubertus. *Metallography of Steels: Interpretation of Structure and the Effects of Processing* [online]. Ohio: ASM International, 2018 [cit. 2020-03-03]. ISBN 978-1-62708-148-1. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpMSISEP03/cid:kt011QKCM1/viewerType:khtml//root\\_slug:front-matter/url\\_slug:front-matter?b-q=stainless%20steel&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=references&include\\_synonyms=no&issue\\_id=kt011QKJR1&hierarchy=&b-toc-cid=kpMSISEP03&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Metallography%20of%20Steels%20-%20Interpretation%20of%20Structure%20and%20the%20Effects%20of%20Processing&page=last&view=collapsed&zoom=1](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpMSISEP03/cid:kt011QKCM1/viewerType:khtml//root_slug:front-matter/url_slug:front-matter?b-q=stainless%20steel&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=references&include_synonyms=no&issue_id=kt011QKJR1&hierarchy=&b-toc-cid=kpMSISEP03&b-toc-root-slug=&b-toc-url-slug=front-matter&b-toc-title=Metallography%20of%20Steels%20-%20Interpretation%20of%20Structure%20and%20the%20Effects%20of%20Processing&page=last&view=collapsed&zoom=1)

10. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
11. SVOBODA, Miroslav. *Protikoroziční ochrana kovů organickými povlaky*. Praha: SNTL, 1985.
12. NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
13. MORAVEC, Ján. *Technológia tvármenia kovov: Vybrané state*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2016. ISBN 978-80-554-1251-1.
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 5. vyd., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
15. LENFELD, Petr. *Technologie II: Část 1. Tváření kovů* [online]. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009 [cit. 2020-04-12]. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:e5ff7880-eca9-11e3-a2c6-005056827e51?page=uuid:c5377430-ff4c-11e3-89c6-005056827e51>
16. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření* [online]. 2. vyd. Brno: VUT, 1992 [cit. 2020-04-12]. ISBN 80-214-0404-3. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:57759a70-63bd-11e2-9d9f-005056827e52?page=uuid:c0524a66fb7292694a599b257f92a1d1>
17. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návodý do cvičení* [online]. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005 [cit. 2020-04-13]. ISBN 80-214-2881-3. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:4f8e4790-1b69-11e7-8bbb-005056827e52?page=uuid:730c5e20-24f4-11e7-b650-5ef3fc9ae867&fulltext=Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD:%20plo%C5%A1n%C3%A9%20a%20objemov%C3%A9%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD>
18. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech* [online]. Praha: SNTL, 1990 [cit. 2020-04-13]. ISBN 80-03-00221-4. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:b3bc3b70-d68c-11e3-b110-005056827e51?page=uuid:c7d574d0-fd21-11e3-9806-005056825209>
19. NĚMEC, Josef. *Svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí*. 2. vyd., Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975
20. INOX. *NEREZOVÁ OCEL 1.4301* [online]. 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
21. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processer and Die Design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.

22. BEZDĚK, Jiří. *Technologie výroby tvarové součásti tvářením* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009 [cit. 2020-05-11]. s.75. Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18795](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18795)
23. BAREŠ, Karel. *Lisování* [online]. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1971 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:df4c9e80-da8a-11e4-8565-005056827e52?page=uuid:f1568090-0006-11e5-9f08-005056825209>
24. KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: Sv. 8.* [online]. Praha: Scientia, 1998 [cit. 2020-05-12]. ISBN 80-7183-054-2. Dostupné z: <https://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:fbf32ab0-ebdc-11e8-bc37-005056827e51?page=uuid:8b687c00-2886-11e9-bd2c-5ef3fc9bb22f>
25. ELPOTECH. *Excentrický lis LEXN100C* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.elpotech.sk/p/30/excentricky-lis-lexn100c>
26. ŠMERAL. *CYS 320* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/52/cys-320>
27. ČSN 22 7303. *Tažení dutých čtyřhranných výtažků: Směrnice pro konstrukci.* Praha: ÚNM, 1967.
28. AALCO METALS LIMITED. *Stainless Steel - Austenitic - 1.4301 (304) Bar and Section* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-Bar-and-Section\\_34.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-Bar-and-Section_34.ashx)
29. HŘEBÍČEK, Pavel. *Maziva vhodná pro tažení oceli* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-28]. 62 s. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116394>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.
30. ANACONDA. *Nerezové plechy PN* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.a20.sk/10080/>
31. NACHÁZEL. *GLEIT-μ ® TZ 316* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.nachazel.cz/data/files/catalog/1507/GLEIT-%C2%B5%20TZ316.pdf>

## Zoznam skratiek a značiek

Značka	Jednotka	Popis
a	mm	veľkosť dlhšej strany obdĺžnika
A	mm	rozmer tabule plechu
a <sub>1</sub>	mm	základný rozmer ideálneho prístrihu
A <sub>80</sub>	%	ťažnosť
A <sub>s</sub>	J	strižná práca
a <sub>v</sub>	mm	rozmer výstrižku
b	mm	veľkosť kratšej strany obdĺžnika
B	mm	rozmer tabule plechu
b <sub>1</sub>	mm	základný rozmer ideálneho prístrihu
c	–	koeficient závislý na druhu strihania
C	–	súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania
C <sub>1</sub>	–	konštanta
c <sub>1</sub>	€	cena jedného výrobku
C <sub>2</sub>	–	konštanta
c <sub>kg</sub>	€	cena za 1 kg plechu
D	mm	priemer prístrihu
d	mm	priemer výťažku
d <sub>m</sub>	mm	priemer ťažnice
d <sub>r</sub>	mm	priemer ťažníka
d <sub>s</sub>	mm	stredný priemer výťažku
F <sub>c</sub>	N	celková sila
F <sub>pr</sub>	N	sila pridržiavača
F <sub>s</sub>	N	strižná sila
F <sub>t</sub>	N	ťažná sila
h	mm	výška výťažku
H	mm	rozvinutá výška steny
h´	mm	celková výška výťažku s prídavkom na obstrihnutie
h <sub>max</sub>	mm	maximálna výška výťažku
H <sub>sa</sub>	mm	zmenšenie rozvinutej výšky pri strane a
H <sub>sb</sub>	mm	zmenšenie rozvinutej výšky pri strane b
k	–	súčiniteľ otupenia britov

Značka	Jednotka	Popis
K	–	stupeň ťahania
$K_1$	–	súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán
l	mm	dĺžka strihu
l	mm	výška rovného úseku steny
L	mm	súčet dĺžok rovných častí stien výťažku
$l_v$	mm	rozmer výstrižku
m	–	súčiniteľ ťahania
$m_o$	–	hmotnosť odpadového materiálu
$m_t$	kg	hmotnosť tabule
$m_v$	%	využitý materiál
$N_c$	€	celkové náklady
$N_{c1}$	€	celkové náklady na jeden výrobok
$N_e$	€	náklady na elektrickú energiu
$N_{f1}$	€	fixné náklady
$N_{f2}$	€	fixné náklady
$N_{mat}$	€	náklady na materiál
$N_o$	€	vrátené náklady za odpadový materiál
$N_{p1}$	€	priame náklady na jeden výrobok
$N_{pc}$	€	celkové priame náklady
$N_r$	€	režijné náklady
$N_s$	€	náklady na prevádzku strojov
p	MPa	merný pridržiavací tlak
$p_{pt}$	–	počet pásov z jednej tabule
$p_t$	–	počet tabúl
$p_{vp}$	–	počet výstrižkov z jedného pásu
$p_{vt}$	–	počet výstrižkov z tabule
R	mm	polomer zaoblenia prístrihu
$R_a$	mm	polomer ideálneho prístrihu
$R_b$	mm	polomer ideálneho prístrihu
RB	–	rovnovážny bod
$R_c$	mm	polomer zaoblenia rohu príruby
$R_d$	mm	polomer zaoblenia dna výťažku
$R_e$	mm	polomer zaoblenia príruby

---

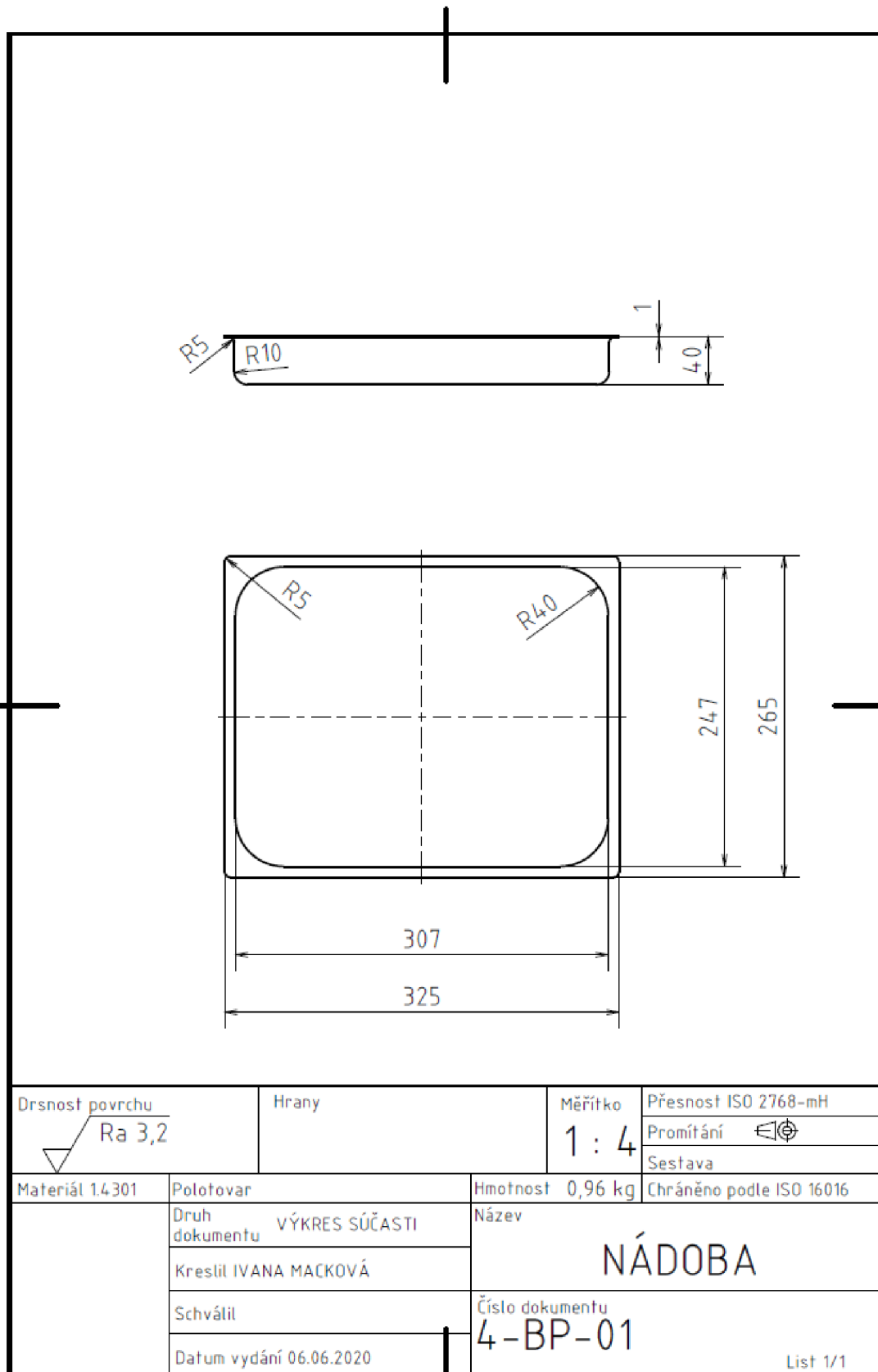
<b>Značka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$R_m$	MPa	pevnosť materiálu v ťahu
$r_m$	mm	polomer ťažnej hrany ťažnice
$R_p$	mm	redukovaný polomer prístrihu v rohu výťazku
$R_{p0,2}$	MPa	medza sklzu
$r_r$	mm	polomer zaoblenia ťažníku
$R_s$	mm	polomer zaoblenia stien výťazku
$S_{\check{c}}$	mm <sup>2</sup>	činná plocha materiálu pod pridržiavačom
SR	–	správna réžia
$S_t$	mm <sup>2</sup>	obsah tabule plechu
$S_v$	mm <sup>2</sup>	obsah výstrižku
$\check{s}_p$	mm	šírka pásu
$t$	mm	hrúbka pechu
$v$	mm	ťažná vôľa
VR	–	výrobná réžia
VS	–	výrobná séria
$x$	–	koeficient
$z$	mm	strižná medzera
$\alpha$	–	súčiniteľ určujúci použitie pridržiavača
$\Delta h$	mm	prídavok na obstrihnutie
$\pi$	–	Ludolfovo číslo
$T_{ps}$	MPa	pevnosť materiálu v strihu

## ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 Výkres súčasti
- Príloha 2 Súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán  $K_1$



## Výkres súčasti



Súčiniteľ hĺbky vniknutia strižných hrán  $K_1$  [24]

Druh materiálu		Součinitel $K_1$	
		$s \leq 4 \text{ mm}$	$s > 4 \text{ mm}$
Ocel	měkká	0,45 až 0,60	0,35 až 0,45
	střednětvrdá	0,35 až 0,50	0,20 až 0,35
	tvrdá	0,20 až 0,35	0,10 až 0,20
Mosaz	měkká	0,50 až 0,60	0,50
	tvrdá	0,20 až 0,30	0,20
Hliník	měkký	0,45 až 0,65	0,45
	tvrdý	0,30 až 0,50	0,30
Dural	měkký	0,35 až 0,50	0,35
	tvrdý	0,25 až 0,45	0,25