

Mechanické vlastnosti pozinkovaných prvků

Kamil Bárta

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kamil BÁRTA**
Osobní číslo: **T090304**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti pozinkovaných prvků**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte lit.rešerži k danému tématu
- 2) Příprava zkušebních těles
- 3) Provedení exp.zkoušek v tahu
- 4) Vyhodnocení výsledků a stanovení doporučení pro výrobní praxi

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

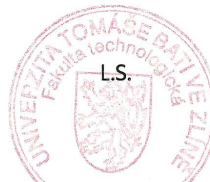
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá mechanickými vlastnostmi pozinkovaných prvků a vliv pozinkování na pevnost materiálu.

Teoretická část popisuje problematiku z oblasti teorie a technologie zinkování, dělení materiálu, druhy ocelí, vliv koroze a princip mechanických zkoušek.

V praktické části práce je popsán postup mechanických zkoušek a samotné měření na trhačích zařízeních.

Dále je vyhodnocen vliv pozinkování na mechanické namáhání – tah.

Klíčová slova: pozinkování, mechanické zkoušky, rozdělení ocelí, koroze

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with mechanical attributes of galvanized elements and with effect on solidity of materials.

The theoretical section depicts problems of theoretical application and galvanization technology, division of materials, types of steel, corrosion influence and principle of mechanical testing.

In the practical section, the principles of mechanical tests and measurement on shredder machines are reviewed.

Furthermore, the influence of galvanization on mechanical stress – tensile load is evaluated.

Keywords: galvanization, mechanical tests, steel division, corrosion process

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D. za odborné vedení při teoretické části, za dobré rady a poskytnuté materiály. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanovi Feriancovi za odbornou pomoc při praktické části mé práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 27.5.2011

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOROZE A OCHRANA PROTI KOROZI	11
1.1 KOROZE A JEJÍ VÝZNAM.....	11
1.2 DRUHY KOROZE	11
1.2.1 Chemická koroze.....	12
1.2.2 Elektrochemická koroze.....	12
1.2.3 Rozdělení koroze podle prostředí.....	13
1.2.4 Druhy koroze vlivem vnějších činitelů	14
1.2.5 Druhy koroze podle vzhledu	16
1.3 ZPŮSOBY PROTIKOROZNÍ OCHRANY.....	16
1.3.1 Volba materiálu	17
1.3.2 Konstrukční a technologické úpravy.....	17
1.3.3 Ochrana proti korozi úpravami korozního prostředí.....	19
1.3.4 Elektrochemická ochrana	19
1.3.5 Ochrana povlaky.....	20
2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU	23
2.1 ROZDĚLENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK.....	23
2.2 STATICKÉ MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....	24
2.2.1 Zkušební stroj.....	24
2.2.2 Zkouška tahem	25
2.2.3 Zkouška tlakem	28
2.2.4 Zkouška ohybem	29
2.2.5 Zkouška krutem.....	30
2.2.6 Zkouška stříhem	31
3 ZINKOVÁNÍ	32
3.1 GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ	32
3.2 ŽÁROVÉ ZINKOVÁNÍ	32
4 DĚLENÍ MATERIÁLU	33
4.1 STŘÍHÁNÍ MATERIÁLU	33
5 VRUBOVÉ ÚČINKY	36
5.1 VRUBOVÁ CITLIVOST MATERIÁLU.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
6 ZKUŠEBNÍ STROJ	38
6.1 ZKOUŠENÝ MATERIÁL	39
7 ZKOUŠKA TAHEM - EXPERIMENT	40
7.1 ZKOUŠKY TAHEM PŘI STEJNÉM UPNUTÍ VZORKU	40
8 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	50

9	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	52
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM GRAFŮ	58

ÚVOD

Celá éra existence lidstva je spjata s použitím materiálu na výrobu nástrojů, zbraní, staveb a předmětů denní potřeby. Nejdříve člověk využíval přírodní materiály, později se pokoušel vlastnosti materiálů upravovat a s objevením kovů a jejich zpracovatelskými technologiemi nastoupil výrazný a významný vývojový posun. V polovině 19.století se pro vývoj technologií i snahu zvyšovat užítí vlastností konstrukčních materiálů posunují přírodní vědy do metalurgických procesů.

Kovy a slitiny vyžadují pečlivé ošetřování, protože při styku s korozním prostředím dochází k degračnímu procesu – korozi. Koroze mění jak vzhled, tak i vlastnosti kovů. Obecně vzato neexistují kovy a slitiny, které by korozi nepodléhaly. Finanční prostředky vynaložené na ochranu proti korozi se u nás odhadují na miliardy korun. Ve světovém měřítku se odhadují roční ztráty asi na 3% výroby oceli, proto má ochrana proti korozi nezanedbatelný hospodářský význam.

Rychlost koroze výrobků můžeme omezit vícero způsoby: volbou materiálu, konstrukčním prostředím, elektrochemickou ochranou a ochranou výrobků povlaky. Jedna z možností povrchové ochrany proti korozi kovových materiálů je pokovování ponořením materiálu do roztavené lázně kovů, mezi něž patří i pozinkování.

Volba materiálu pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí a zařízení vychází ze znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu.

Mechanické vlastnosti materiálu jsou čtyři: pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost, ale mechanických charakteristik je víc.

Materiály jsou při používání i při zpracování vystaveny rozličnému namáhání: tahu, tlaku, krutu, stříhu a ohybu. Namáhání obvykle působí v různých kombinacích a materiál pak podléhá složenému namáhání.

Pomocí mechanických zkoušek vlastností materiálů zjišťujeme vhodnost materiálu k tomu kterému použití. Tyto zkoušky neslouží pouze k určení vlastností materiálu, ale i ke kontrole. Cílem je zjistit, zda materiál odpovídá předepsaným hodnotám. Objektivnost zajišťuje norma, která určuje postup a podmínky měření.

V této bakalářské práci se budu zabývat problematikou týkající se koroze a případný vlivem pozinkování na pevnost daných kusů, určitého materiálu. Teoreticky by pozinkování nemělo mít žádný vliv, ale z praxe vím, že se rozdíl může pohybovat až kolem 10%.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOROZE A OCHRANA PROTI KOROZI

1.1 Koroze a její význam

Koroze kovů se definuje jako samovolné, postupné rozrušení kovů následkem jejich chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat v atmosféře nebo jiných plynech, ve vodě a jiných kapalinách, zeminách a různých chemických látkách, které jsou s kovem ve styku. Příkladem koroze je rezavění slitin železa. Toto rozrušování (poškozování) materiálu může být rozdílné; např. od změny jeho vzhledu (ztráty barvy, lesku), až po jejich úplný rozpad → degradace.

Mimo kovy znehodnocuje koroze také nekovové organické i anorganické materiály. Např. plasty jsou proti elektrochemické korozi odolné, podléhají však ostatním druhům rozrušování jako chemické reakci některých jejich složek, přerušování molekulárních řetězců, bobtnání, rozpouštění aj.

Boj proti korozi a protikorozi ochrana je proto důležitý technický a ekonomický úkol. [5]

1.2 Druhy koroze

Koroze má různé formy a rozlišuje se z různých hledisek:

- podle vnitřního mechanismu na korozi:
 - chemickou
 - elektrochemickou
- podle druhu korozního prostředí na korozi:
 - atmosférickou
 - v kapalinách
 - půdní
 - různými chemickými látkami
- podle kombinace s vnějšími činiteli na korozi:
 - při mechanickém namáhání materiálu
 - při únavě materiálu (korozní únava)

- vibrační korozi
- korozní praskání
- korozi bludnými proudy
- podle druhu korozního napadení na korozi:
 - rovnoměrnou
 - nerovnoměrnou

1.2.1 Chemická koroze

Je to znehodnocení, které nastává vzájemným působením kovu a korozního prostředí (soli, kapaliny a plyny). Nejčastěji jde o oxidaci kovu, zejména oceli, v prostředí přehřáté páry a při jeho ohřevu. V prostředí přehřáté páry nastává:

- oxidace kovu přehřátou párou: $\text{Me} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MeO} + \text{H}_2$

zkřehnutí oceli vlivem difúze vodíku, který vzniká při reakci vodní páry s kovem \rightarrow tzv. vodíková křehkost, která zhoršuje mechanické vlastnosti oceli. [5]

1.2.2 Elektrochemická koroze

Definuje se jako rozrušování kovů s různým elektrickým potenciálem za vzniku elektrického proudu, který se mění v teplo. Základním předpokladem pro průběh elektrochemické koroze je nutná přítomnost elektrolytu, tj. elektricky vodivých roztoků nebo tavenin. Pro vysvětlení mechanismu elektrochemické koroze si připomeneme tyto základní

- poznatky:
- elektrolytická disociace (štěpení molekul na ionty)
 - hydratace iontů kovu (obalování kovu molekulami vody)
 - elektrochemická řada napětí

Některé kovy se rozpouštějí v elektrolytu, vysílají kladné ionty a samy se nabíjejí záporně. Mají proti vodíkové elektrodě záporné napětí a nazývají se neušlechtilé kovy (obecně). Jiné kovy v roztoku své soli ionty na sebe přitahují, nabíjejí se kladně a mají vůči vodíkové elektrodě kladné napětí. Jsou to ušlechtilé kovy. [5]

1.2.3 Rozdělení koroze podle prostředí

Ovzduší, kapaliny a zeminy jsou obvyklá prostředí, která obklopují strojní součásti a strojní zařízení. Podle toho rozlišujeme koroze:

a) Atmosférická koroze

Většina kovových výrobků plní svou funkci v atmosféře; proto se tento druh koroze vyskytuje v největším rozsahu. První z vlivů, které spolupůsobí při atmosférické korozi, jsou klimatické podmínky dané vlhkostí a teplotou vzduchu a jeho znečištěním. Je-li povrch kovu drsný a pokrytý prachem a nečistotami, tvoří se vodní film při nižší relativní vlhkosti asi kolem 60%, a nazývá se **kritická relativní vlhkost**. Důležitý význam má i kyslík, který proniká tenkým filmem a účastní se katodické reakce jako depolarizátor, čili urychluje korozi.

Musíme znát rychlost koroze, měřenou úbytkem materiálu za určitou dobu, a volit způsob ochrany navrhovaného zařízení, proto normy rozdělují atmosféry podle korozní agresivity do pěti stupňů:

C1 – *velmi nízká*. Atmosféry uzavřených, klimatizovaných místností, v nichž nedochází ke kondenzaci vody.

C2 – *nízká*. Vztahuje se na prostory, v nichž dochází k občasné kondenzaci.

C3 – *střední*. Odpovídá suchým klimátům.

C4 – *vysoká*. Odpovídá vlhkým oblastem za působení atmosférických nečistot průmyslových měst, přístavů a jině.

C5 – *velmi vysoká*.

Stupeň agresivity	Jednotky	Ocel	Zinek	Měď	Hliník
C1	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$ $\mu\text{m/a}$	≤ 10 $\leq 1,3$	$\leq 0,7$ $\leq 0,1$	$\leq 0,9$ $\leq 0,1$	zanedbatelná
C2	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$ $\mu\text{m/a}$	$10 < r_{\text{coor}} \leq 200$ $1,3 < r_{\text{coor}} \leq 25$	$0,7 < r_{\text{coor}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{coor}} \leq 0,7$	$0,9 < r_{\text{coor}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{coor}} \leq 0,6$	$r_{\text{coor}} \leq 0,6$ –
C3	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$ $\mu\text{m/a}$	$200 < r_{\text{coor}} \leq 400$ $25 < r_{\text{coor}} \leq 50$	$5 < r_{\text{coor}} \leq 15$ $0,7 < r_{\text{coor}} \leq 2,1$	$5 < r_{\text{coor}} \leq 12$ $0,6 < r_{\text{coor}} \leq 1,3$	$0,6 < r_{\text{coor}} \leq 2$ –
C4	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$ $\mu\text{m/a}$	$400 < r_{\text{coor}} \leq 650$ $50 < r_{\text{coor}} \leq 80$	$15 < r_{\text{coor}} \leq 30$ $2,1 < r_{\text{coor}} \leq 4,2$	$12 < r_{\text{coor}} \leq 25$ $1,3 < r_{\text{coor}} \leq 2,8$	$2 < r_{\text{coor}} \leq 5$ –
C5	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$ $\mu\text{m/a}$	$650 < r_{\text{coor}} \leq 1\,500$ $80 < r_{\text{coor}} \leq 200$	$30 < r_{\text{coor}} \leq 60$ $4,2 < r_{\text{coor}} \leq 8,4$	$25 < r_{\text{coor}} \leq 50$ $2,8 < r_{\text{coor}} \leq 5,6$	$5 < r_{\text{coor}} \leq 10$ –

Obr. 1 - Rychlosti koroze pro první rok koroze pro jednotlivé stupně agresivity

Důležitý je i vliv teploty. Při nízkých teplotách se atmosférická koroze zastavuje zmrznutím elektrolytu. Při vzrůstající teplotě v vzrůstá i rychlost koroze. Pro různé kovy a různé stupně agresivity jsou rychlosti koroze v tabulce na obr. 1. [5]

b) Koroze v kapalinách

Z oblasti koroze v kapalinách má největší význam koroze ve vodách. Do styku s vodou přicházejí vodní stroje, stroje a zařízení na výrobu páry, chladicí systémy motoru, kompresorů a jiných strojů, rozvodná potrubí a armatury pitných a průmyslových vod a jiné. Agresivita vod z hlediska koroze je kromě tvrdosti závislá na hodnotě pH [veličinu pH nazýváme vodíkovým exponentem a je mírou kyselosti (pH 0-6) či zásaditosti (pH 8-14) roztoku a neutrální roztok má pH 7], na množství plynů rozpuštěných ve vodě, hlavně kyslíku, na teplotě a proudění vody. [5]

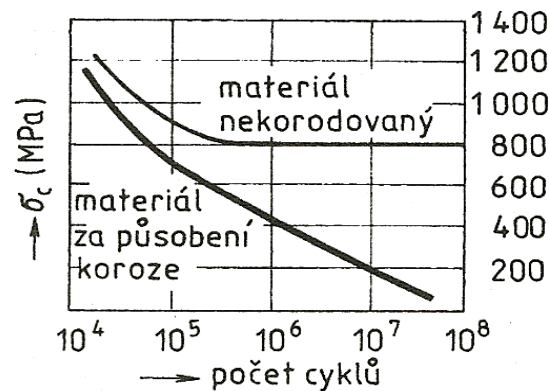
c) Půdní koroze

Ve své podstatě je to koroze ve vodách různého složení. Půda se skládá z plynné, kapalně a tuhé fáze. Vlastním korozním prostředím je kapalná fáze půdy, která jí dává elektrickou vodivost, z plynné fáze se opět uplatňuje kyslík jako depolarizátor. [5]

1.2.4 Druhy koroze vlivem vnějších činitelů

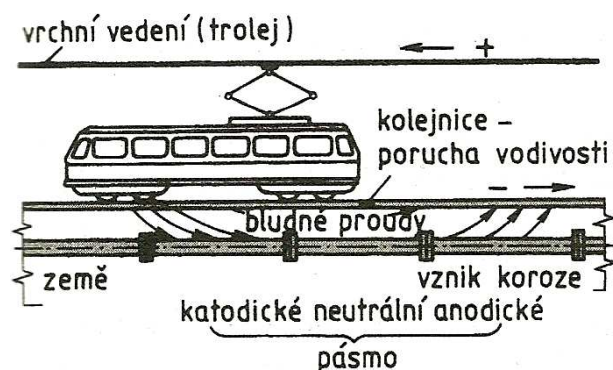
Strojní zařízení pracující v korozním prostředí podléhají často zvýšenému koroznímu rozrušení, působí-li současně jiné vlivy, hlavně různé formy mechanického namáhání.

- a) **Koroze při mechanickém namáhání.** Napětí se soustřeďuje ve vrubech nebo na hranicích zrna, kde se tím zmenšuje elektrodový potenciál. Napadení proniká do značné hloubky materiálu, pevnost rychle klesá bez pozorovatelné změny na povrchu kovu.
- b) **Korozní únava** vzniká tehdy, je-li materiál namáhán jakýmkoli druhem střídavého namáhání za současného vlivu korozního prostředí. Materiál se porušuje již při menším napětí, než odpovídá mezi únavy. Wöhlerova křivka se výrazně mění, chybí vodorovná část (obr.2).



Obr. 2 - Vliv korozní únavy na průběh Wöhlerovy křivky

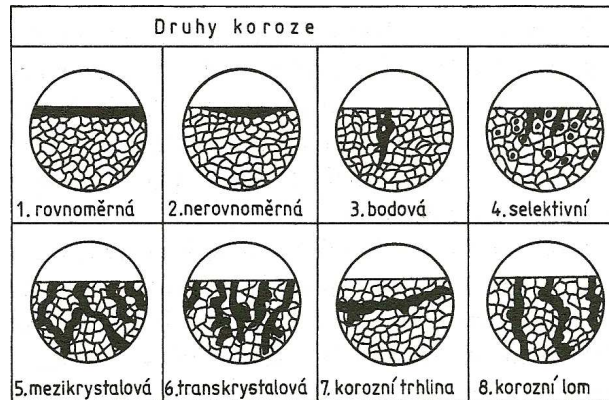
- c) **Vibrační koroze** vzniká, jestliže se o sobe tře ocel s jakýmkoli materiálem za současného vibračního pohybu při mezních hodnotách součinitele tření.
- d) **Korozní praskání kovů** vzniká při současném působení korozního prostředí a mechanického namáhání tahem. Projevuje se vznikem trhlin, které se rozkládají kolmo na směr působení tahových pnutí a mají mezikrystalový, transkrystalový nebo smíšený charakter.
- e) **Koroze bludnými proudy** (také elektrokorozí) vzniká všude, kde vniká nekontrolovaný (bludný) proud z kladného pólu do zařízení a v jiném místě je opět opouští. Místo, kde proud vystupuje, je anodou a nastává na něm značné rozpouštění kovu, koroze. Nejčastějším zdrojem bludných proudů jsou elektrické dráhy (obr. 3). [5]



Obr. 3 - Schéma rozložení bludného proudu z elektrické dráhy

1.2.5 Druhy koroze podle vzhledu

Koroze se projevují různým vzhledem (napadením). Nejspolehlivějším hodnocením korozního napadení je hodnocení metalografické (strukturní), které určuje norma. Hlavní druhy napadení jsou (obr.4):



Obr. 4 - Druhy koroze podle vzhledu a jejich metalografické hodnocení

1. **Rovnoměrná koroze.** Probíhá po celé ploše
2. **Nerovnoměrná koroze.** Zanechává některá místa bez napadení.
3. **Bodová koroze (pitting).** Místní napadení, které postupuje do hloubky bez zvětšení šířky. Způsobuje například proděravění stěn potrubí, nádob aj.
4. **Selektivní koroze.** Projevuje se napadením jedné fáze slitiny nebo zrn jednofázové slitiny.
5. **Mezikrystalická koroze.** Postupuje po hranicích zrn do hloubky bez hmotnostního úbytku při úplné ztrátě mechanických vlastností materiálu.
6. **Transkrystalová koroze.** Projevuje se lomem zrn napříč a do hloubky a v účincích se podobá mezikrystalické korozi.

Korozní trhliny a lomy. Mají několik forem podle druhu mechanického namáhání. Probíhají transkrystalově nebo mezikrystalově nebo spojitě buď na povrchu nebo do hloubky. [5]

1.3 Způsoby protikorozi ochrany

Rychlost koroze výrobků či zařízení lze omezit několika způsoby již při jejich navrhování. Jsou to : - volba materiálu

- konstrukční úpravy
- technologické úpravy
- povrchové úpravy
- úprava prostředí
- elektrochemická ochrana
- ochrana výrobků povlaky

1.3.1 Volba materiálu

Různé kovové materiály korodují za stejných podmínek různou rychlostí, proto volba materiálu poskytuje konstruktérovi první možnost omezení rychlosti koroze. Využívá se specifických vlastností kovů a jejich slitin a to jejich stálosti v různých prostředích. Tuto stálost mají ušlechtilé kovy a jejich slitiny a korozivzdorné oceli.

V úvahu přicházejí i plasty. Zjednodušený postup při volbě materiálu odolného v různých atmosférických podmínkách lze volit podle tabulky na obr.1. [5]

Někdy se s volbou materiálu z hlediska jeho prosté korozní odolnosti (rychlosti koroze) nevystačí proto, že slitiny všech kovů jsou za jistých podmínek náchylné k nebezpečným druhům koroze, tzv. strukturní korozi (viz 1.2.5). Jestliže tedy nelze spolehlivě zjistit nejvhodnější materiál, provádějí se korozní zkoušky v umělých atmosférách, při kterých jsou modelovány podmínky, ve kterých drahý výrobek či zařízení pracuje. Podmínky jsou určeny normou, například ČSN ISO 4384 (03 8120): 1994, ČSN ISO 9227 (03 8132): 1994. [5]

1.3.2 Konstrukční a technologické úpravy

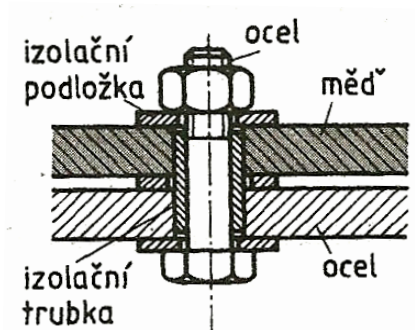
V praxi se běžně vyskytují výrobky, jejichž konstrukční nebo technologické provedení způsobuje nebo urychluje korozi. Nejčastěji jsou to tyto chyby:

- místní přehřívání materiálu
- vytváření korozních makročlanků
- soustředování usazenin
- nevhodné tvary z hlediska předpokládané ochrany povlaky

- nevhodné provedení svarů
- nevhodná kombinace korozních a mechanických namáhání (viz 1.2.4)

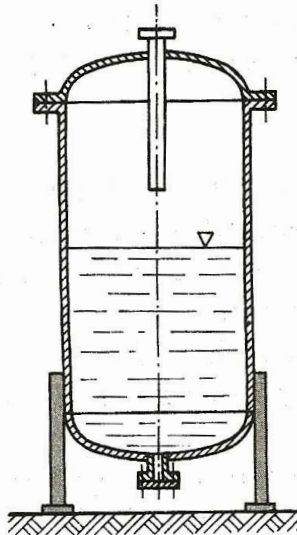
Řešení těchto otázek je společný úkol konstruktéra a technologa.

Příklad správného řešení spoje oceli s mědí nebo hliníkem je na obr.5.



Obr. 5 - Izolační spoj dvou různých materiálů v korozním prostředí

Soustředování různých usazenin a kapalin vzniká v kapsách a spárách hlavně u ocelových konstrukcí a nádob, například u stojatých nádob nebo nádrží. Mají mít oblé dno s výpustí na nejnižším místě a být postaveny na patky tak, aby nebyly ve styku s podlahou obr.6. V tepelné technice je třeba opatřit zařízení a rozvody soustavou odkalovacích ventilů a kohoutů. [5]



Obr. 6 - Příklad vhodného řešení reakční nádoby

Tam, kde vlivem koroze dochází k úbytkům průřezu materiálu (nádoby, potrubí, mostní a jiné konstrukce), zvětšuje konstruktér průřezy o tzv. přídavek na korozi, který odpovídá znehodnocení materiálu během předpokládané životnosti výrobku.

1.3.3 Ochrana proti korozi úpravami korozního prostředí

Zvýšení odolnosti kovů lze dosáhnout i tím, že se korozní prostředí přizpůsobí korozním vlastnostem kovů. Upravují se tak kapalná i plynná prostředí, a to:

- snížením koncentrace korozně aktivních látek nebo jejich odstraněním;
- přidáním látek, tzv. inhibitorů, které snižují rychlost koroze.

Oba způsoby jsou svým mechanismem dosti složité a vyžadují hlubší znalosti chemie. [5]

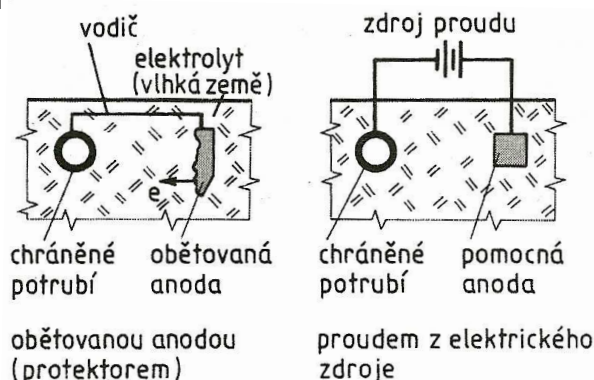
1.3.4 Elektrochemická ochrana

Podstata této metody spočívá v záměrné změně potenciálu kovu vůči danému elektrolytu. Tím, že ovlivňujeme polarizaci kovu, chráníme jej proti korozi. Známe dva způsoby této ochrany:

- **katodickou ochranu** - důsledkem katodické polarizace je chráněný kov převeden do stavu imunity (stav ve kterém koroze neprobíhá),
- **anodickou ochranu** – v důsledku anodické polarizace je chráněný kov převeden do stavu pasivity (stav ve kterém je kov proti korozi odolný).

Katodická ochrana je nejznámějším a nejrozšířenějším způsob elektrochemické ochrany. Lze ji dosáhnout dvěma způsoby.

První způsob spočívá v umělém vytvoření stejnosměrného okruhu proti směru korozního proudu obr.7 . [5]



Obr.7 - Katodická ochrana kovů

Zdrojem elektrického stejnosměrného proudu je uměle vytvořený galvanický článek, katodu tvoří chráněný kov, anodu kov s dostatečně vysokým záporným potenciálem. Tato anoda, zvaná protektor nebo obětovaná anoda, je vodivě připojena izolovaným vodičem na chráněný povrch, který se účinkem proudu stane katodou a nekoroduje. Anoda se pozvolna rozpouští. Odtud pojmenování obětovaná anoda.

Druhý způsob používá jako zdroje stejnosměrného proudu, nejčastěji selenové, germaniové nebo křemíkové usměrňovače s volitelnými parametry. Chráněný předmět se zapojí opět jako katoda, kladný pól se spojí vodivě s pomocnou anodou.

Katodická ochrana stejnosměrným elektrickým proudem se používá také jako ochrana proti korozi bludnými proudy (viz 1.2.4).

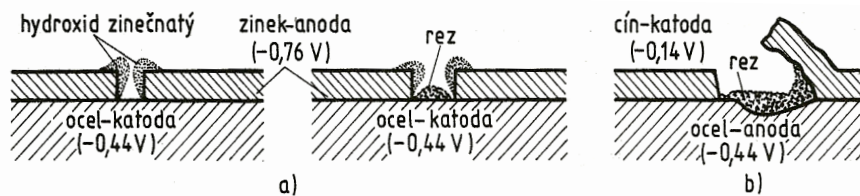
Anodická ochrana se používá u těch materiálů, u nichž se v daném prostředí (například u chromových ocelí v roztocích kyselin nebo u nelegovaných ocelí v hydroxidech) koroze porušovaná pasivní vrstva obnovuje polarizací. Chráněný kov se vodivě zapojí jako anoda na kladný pól vnějšího zdroje a potenciál chráněného kovu je tak převeden do oblasti pasivity (vznik tenké vrstvičky → tenký povlak → nezbavuje kov lesku). Anodická ochrana umožňuje používat materiály, které by samy svými oxidačními vlastnostmi nemohly zajistit dostatečně stabilní a trvalou pasivitu. [5]

1.3.5 Ochrana povlaky

Je to nejrozšířenější způsob protikorozi ochrany kovových výrobků. Umožňuje konstruktérovi volit materiál s požadovanými mechanickými vlastnostmi bez ohledu na jeho odolnost proti korozi. Je často i nezbytným doplňkem estetického řešení výrobku. Podle funkce to jsou:

1. Povlaky, které úplně izolují základní materiál od korozního prostředí. Musí být zcela souvislé a nepórovité. Patří sem povlaky z keramických smaltů, povlaky na oceli z ušlechtlejších kovů než ocel, povlaky z plastů a lidické vrstvy na slitinách lehkých kovů.
2. Povlaky, které chrání základní materiál částečně na základě své elektrochemické funkce. Má-li povlakový kov vzhledem k základnímu materiálu záporný potenciál, vytvoří v póru anodu, rozpouští se a korozní zplodiny a zabraňují dalšímu pronikání korozního prostředí k základnímu kovu. Tuto schopnost má zinek, kadmium a hli-

ník. Příkladem takové koroze je koroze pozinkovaného nebo pocínovaného ocelového plechu (obr.8).



Obr. 8 - Koroze u zinkového a cínového povlaku

a) zinkový (anodický) povlak, b) cínový (katodický) povlak

U pozinkovaného ocelového plechu zinkový povlak dobře chrání ocelový plech před korozi. Zinek jako kov s větším záporným potenciálem (-0,76 V) je rozpustnou anodou, ocel (železo) jako kov s menším záporným potenciálem (-0,44 V) je nerozpustnou katodou. Jsou-li v zinkovém povlaku póry, zinek se rozpouští. Jsou-li póry veliké, nestačí okolní zinek ocel chránit a objevuje se rez obr.8 a). Proto musí být zinkové povlaky dostatečně silné, aby stačily póry zalít.

U pocínovaného ocelového plechu je cín nerozpustnou katodou (-0,14 V), ocel rozpustnou anodou (-0,44 V). Jsou-li v povlaku póry, rozpouští se ocel, kdežto cín se nerozpouští (obr.8 b).

3. Povlaky z materiálu, které mají schopnost odstraňovat z pronikajícího prostředí jeho složky, urychlující korozi. Do tohoto typu patří nátěry, které jsou vždy propustné pro vodu a kyslík. Ochranná schopnost nátěrů je v tom, že základní nátěrová hmota obsahuje různé pigmenty s inhibičními účinky.

Povlakové materiály se dělí též na organické a anorganické. Anorganické mohou být kovové nebo nekovové. Pro kovové povlaky se používá takřka všech kovů. K nekovovým patří povlaky z keramických smaltů, ze žáruvzdorných oxidů, fosfátové, oxidové a chromátové. Mezi organické patří nátěry, povlaky z plastů a konzervační prostředky.

Nanášení kovových i nekovových povlaků předpokládá správnou předúpravu povrchu, která s následujícím vhodným výběrem povlakového systému vytváří konečný efekt povrchové úpravy. Správná povrchová úprava musí zaručovat:

- dokonalou čistotu povrchu,

- určitou drsnost povrchu,
- podmínky pro vyhovující přilnavost ochranných povlaků.

Povrchové předúpravy provádíme:

- mechanicky,
- chemicky,
- elektrochemicky.

Mechanické předúpravy povrchu spočívají v úpravě základního materiálu nebo výrobků tak, abychom vytvořili požadovanou drsnost povrchu před vlastní povrchovou úpravou, čehož docílujeme otryskáváním, omíláním, kartáčováním, broušením a leštěním.

Chemické, respektive elektrochemické předúpravy povrchu jsou procesy, při kterých se používá chemických reakcí. Základní charakteristikou těchto předúprav je, že probíhají v kapalných prostředích – lázních a mají především význam v odstraňování nečistot z povrchu materiálu před následujícími povrchovými úpravami. Patří sem zejména odmašťování, moření, odrezování, leštění. [5]

2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU

Výběr materiálu pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí a zařízení je založen na znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu. První krok výběru materiálu spočívá v rozboru těch vlastností, které jsou pro daný účel nejdůležitější (například jestli bude zatěžování pomalé nebo rázové, potřebujeme materiál pevný nebo tvárný). [7]

Mechanické vlastnosti materiálu jsou prakticky čtyři:

- pružnost
- plasticita
- pevnost
- houževnatost

Pružnost - vlastnost těles nabýt původního tvaru, přestanou-li na ně působit síly, které vyvolali jejich přetvoření. [6]

Plasticita – schopnost pevné hmoty podržet deformace, vyvolané účinkem vnějších sil. [6]

Pevnost – schopnost materiálu nebo součásti odolávat účinkům působením sil, aniž by došlo v některém místě k porušení. [6]

Houževnatost – odolnost materiálu s velkou tvárlivostí a pevností proti vzniku lomu. Je podmíněna velkou schopností k plastické deformaci. [6]

2.1 Rozdělení mechanických zkoušek

Těmito zkouškami získáváme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů strojních součástí.

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky na:

- Statické zkoušky – při nichž zatížení zvětšujeme poměrně zvolna. Působí obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky.
- Dynamické zkoušky rázové a cyklické – při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách (tzv. zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až do miliónů jejich celkového počtu.

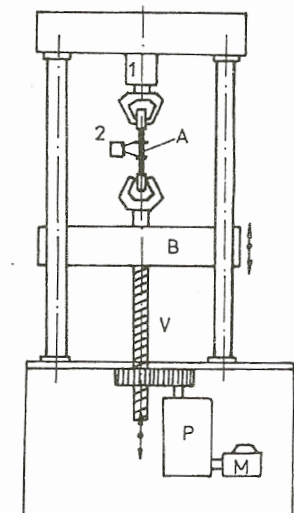
2.2 Statické mechanické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžíme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v:

- tahu
- tlaku
- ohybu
- krutu
- stříh [4]

2.2.1 Zkušební stroj

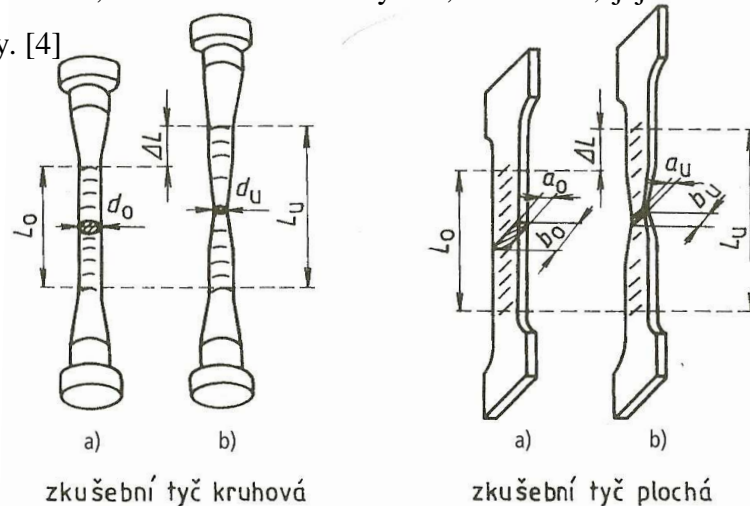
K základnímu vybavení laboratoře mechanických zkoušek patří univerzální zkušební stroj, na kterém se provádí zkoušky tahem, tlakem a zkouška ohybem. Se sériovou výrobou zkušebních strojů se začalo na konci minulého století. Princip stroje zůstal zachován do dnešní doby. Stroj (obr. 9) tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1 – zařízení pro měření síly. Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčnicku B. Příčnick je uváděn do pohybu motorem M, přes vřetenou V a převodovou skříň. Při pohybu příčnicku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního tělesa. Deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2. Vhodnou úpravou uchycení zkušebního tělesa a průtahoměru se na tomto stroji provádí i ostatní mechanické zkoušky. [2]



Obr. 9 - Univerzální zkušební stroj

2.2.2 Zkouška tahem

Tato zkouška je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, na obr.10, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. [4]



Obr. 10 - Zkušební tyče pro zkoušku tahem –

a) před zkouškou, b) po zkoušce

Počáteční délka L_o zkušební tyče závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče $10 d_o$ a u tyče krátké $5 d_o$ (d_o průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Zkouškou tahem zjišťujeme **pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci (zúžení)** zkoušeného materiálu.

Tyto zkoušky jsou normalizovány normou ČSN EN 100002 – 1.

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) R_m je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební tyč, a počátečního průřezu zkušební tyče S_o :

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

Byla-li počáteční délka zkušební tyče L_o a konečná délka po přetržení L_u je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

$$\Delta L = L_u - L_o$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k počáteční délce zkušební tyče L_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

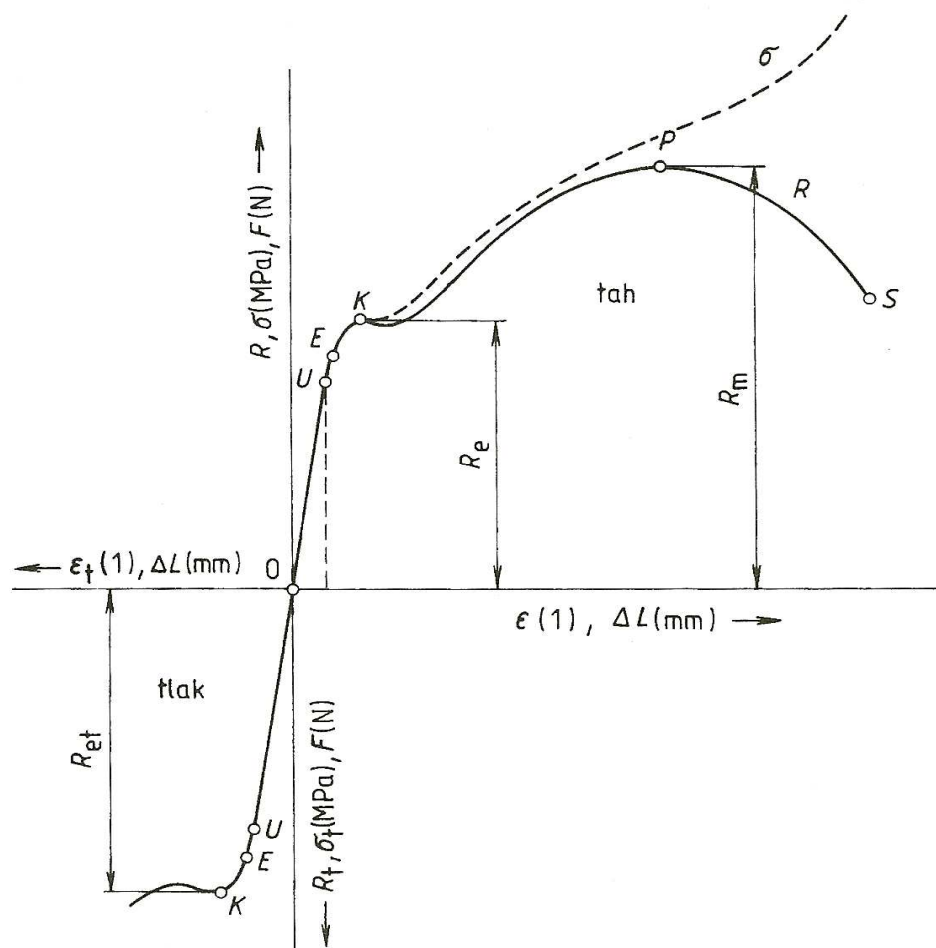
Tažnost δ je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky:

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

Kontrakce (zúžení) φ je poměr rozdílu počáteční plochy S_0 a nejmenší plochy S_u příčného průřezu zkušební tyče po přetržení k počáteční ploše průřezu:

$$\varphi = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

Při zkoušce tahem zaznamenává trhací stroj pracovní diagram (obr. 11), který udává závislost poměrného prodloužení ε na napětí R (nebo celkového prodloužení ΔL na zatěžující síle F). Pro výpočty namáhání má význam jen diagram $\varepsilon - R$ (prodloužení – napětí). [4]



Obr. 11 - Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké nelegované oceli

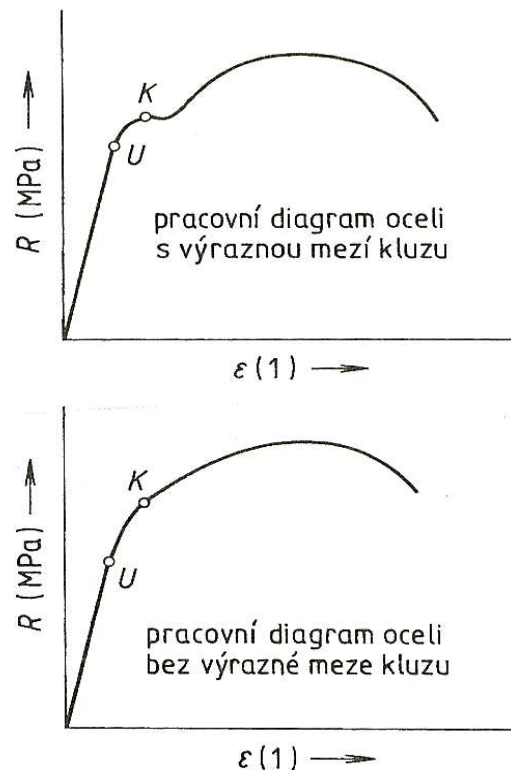
Graf znázorňuje, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení (průběh lze znázornit přímkou), a to až do bodu U. Napětí odpovídající bodu U definujeme jako napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon).

Až do bodu E je deformace pružná, tj. po odlehčení nabývá tyč počáteční délky. Napětí odpovídající bodu E je **mez pružnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, které po odlehčení nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšuje-li se zatížení dál, nastává přetváření trvalé (plastické) a tyč po odlehčení nenabude počáteční délky. Napětí odpovídající bodu K definujeme jako pevnost kluzu nebo také **mez kluzu v tahu** - R_e . Je to napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně deformovat (obr. 12).

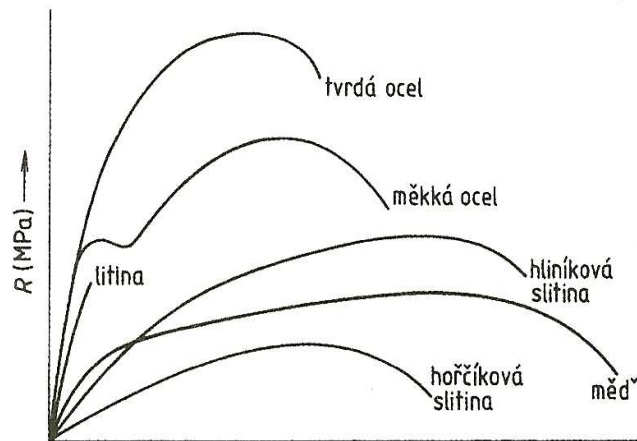
$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

Od bodu K jde čára diagramu téměř vodorovně, aniž vzrůstá zatížení (kov jakoby tekl – tyč se prodlužuje). Objevuje se i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se zkušební tyč prodlužuje mnohem rychleji, než vzrůstá zatížení. Nejmenší napětí R_m (mez pevnosti v tahu – **pevnost v tahu**) odpovídá bodu P na vrcholu křivky. Při napětí odpovídajícím bodu S se zkušební tyč přetrhne. [4]



Obr. 12 - Diagram pracovní oceli s výraznou mezí kluzu a oceli bez výrazné meze kluzu

Tvar pracovního diagramu se liší podle druhu materiálu (obr. 13).

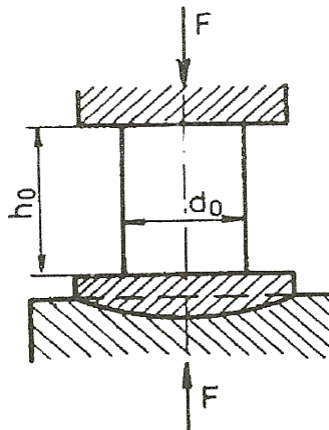


Obr. 13 - Pracovní diagram pro některé konstrukční materiály

2.2.3 Zkouška tlakem

Používá se méně často (např.: litiny, keramické látky, ložiskové kovy, stavební hmoty). U ocelí nebývá tato zkouška nutná, protože meze úměrnosti a kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné.

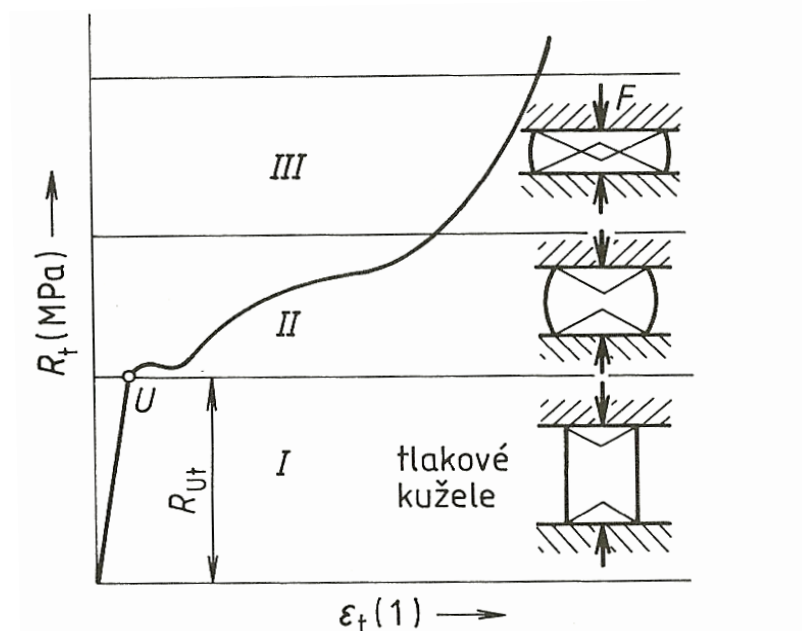
Zkoušky provádíme na univerzálním stroji. Zkušební tělesa mívají obvykle tvar válečku o průměru d_0 (10-30mm). Zkušební těleso se uloží mezi dvě podložky. Jedna je uložena v kolovém sedle (obr. 14). [7]



Obr. 14 - Zkouška tlakem

Průběh tlakové deformace zkušebního válečku z houževnatého materiálu (měkké oceli) je na obr.15. V prvním úseku zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává tlaku a tvoří se tzv. tlakové kužele. V druhém období hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se projevuje v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci.

V třetím období se tlakové kužele k sobě přiblíží, vzrůstá odpor proti stlačování a křivka má opět strmý průběh. K této fázi obvykle nedosahujeme. U křehkého materiálu nastává rozdrčení (lom), bez plastické deformace.



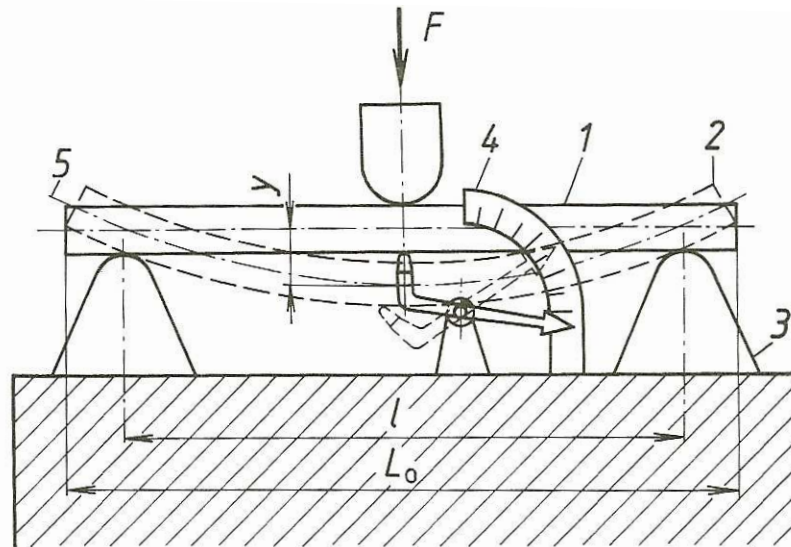
Obr. 15 pracovní diagram tlakové zkoušky měkké nelegované oceli

Rozměry i definice hodnot (pevnost v tlaku, mez skluzu v tlaku, prosté zkrácení, poměrné zkrácení, poměrné prodloužení) jsou stejné jako pro zkoušku tahem. Mez pevnosti v tlaku se uvádí jen pro křehké materiály, protože u měkkých a tvárných kovů nelze určit okamžik porušení. Smluvní mez kluzu v tlaku určujeme obdobným způsobem jako u zkoušky tahem. [4]

2.2.4 Zkouška ohybem

Tato zkouška se používá u křehkých materiálů, hlavně u litych materiálů (šedé litiny). U materiálů houževnatých k porušení zkušební tyče nedojde. Obvyklé uspořádání zkoušky (obr.16). Zkušební tyč je uložena na podpěrách a uprostřed tyče působí zatěžující síla. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Při postupně rostoucím zatížení měříme průhyb tyče y až do okamžiku, kdy se tyč přelomí nebo trvale prohne.

Zkoušky se provádí podle norem ČSN 42 0361. [4]



Obr. 16 Zkouška ohybem; 1–zkušební tyč před ohybem, 2–zkušební tyč po ohybu, 3–podpěry, 4–měřicí zařízení, 5–neutrální osa, l–vzdálenost podpěr, L_0 – délka zkušební tyče, F–zatěžující síla, y–průhyb tyče

Pevnost v ohybu (mez pevnosti v ohybu) R_{mo} je napětí, při němž se tyč přelomí. Měřítkem deformační schopnosti materiálu je maximální prohnutí y_m při lomu zkušební tyče, měřené uprostřed podpěr ve směru působící síly. Tvar a rozměry zkušebních tyčí závisí na druhu zkoušeného materiálu. [4]

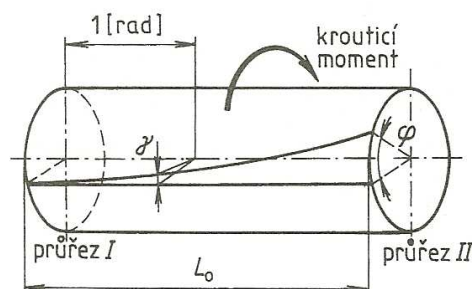
2.2.5 Zkouška krutem

Touto zkouškou se hlavně zjišťuje jakost drátů za studena. Zkouškou za tepla se určuje kujnost oceli. Zkouška se dělá většinou na válcových zkušebních tyčích, které se ve zkušebním stroji zatěžují až do porušení (obr. 17). Měří se příslušný krouticí moment a zkroucení tyče na určité měřené délce. Touto zkouškou zjišťujeme poměrné zkroucení (zkrut). [4]

$$\varepsilon_k = \frac{\varphi}{L_0}$$

φ – úhel zkroucení

L_0 – délka pootočení



Obr. 17 - Zkouška krutem

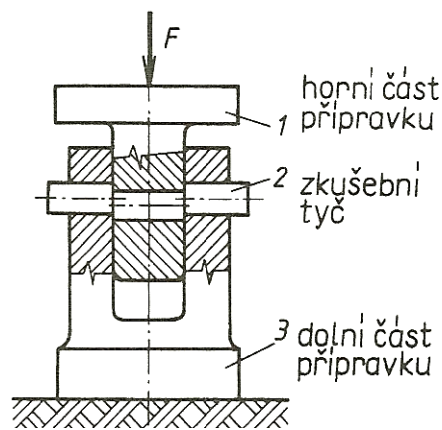
2.2.6 Zkouška stříhem

Zkouška se provádí na přípravcích vkládaných do univerzálních zkušebních strojů. Zkušební válcová tyč (obr. 18), se zasune do děr ve spodní i horní části přípravku a na horní část působí postupně zvyšovaná tlaková síla F . Ze zatížení, při kterém se zkušební tyč poruší a z původní plochy stříhaných průřezů vypočítáme mez pevnosti ve stříhu.

Pevnost ve stříhu je největší smykové napětí potřebné k přestřížení zkušební tyče. Tato zkouška je obvyklá u slídy, dřeva, lepenky apod.

U kovů lze mez pevnosti ve stříhu odhadnout s přesností na 10 – 20%, podle vztahu.

$R_{ms} \cong 0,8R_m$. Znalost pevnosti ve stříhu je důležitá při výpočtu síly potřebné k prostříhování plechů. [4]



Obr. 18 - Zkouška stříhem

3 ZINKOVÁNÍ

Pozinkování je nanesení vrstvy zinku na povrch železných resp. ocelových výrobků. Tato vrstva slouží jako ochrana proti korozi. Zinek chrání povrch nejen mechanicky, ale i chemicky. Se železem tvoří ve vlhku zinek elektrický člunek. I při lokálním porušení vrstvy zinku probíhá koroze jen na zinkové vrstvě, zatímco ocel zůstane neporušena. Ochrana ale trvá jen do rozpuštění zinkové vrstvy.

Ochrana pozinkováním se používá pro celé výrobky (automobilové karosérie, sloupy osvětlení, zábradlí, okapy) tak pro materiál (pozinkovaný plech).

Zinek se na povrch předmětů nanáší buď zastudena elektrolyticky (*galvanické pozinkování*) nebo ponořením předmětu do roztaveného zinku (*žárové zinkování*). [8]

3.1 Galvanické zinkování

Je elektrolytický děj, při kterém se na elektrovedivé materiály, ve většině případů železné díly (katoda), elektrochemicky vyloučí zinkový povlak rozpuštěním zinku (anody). [8]

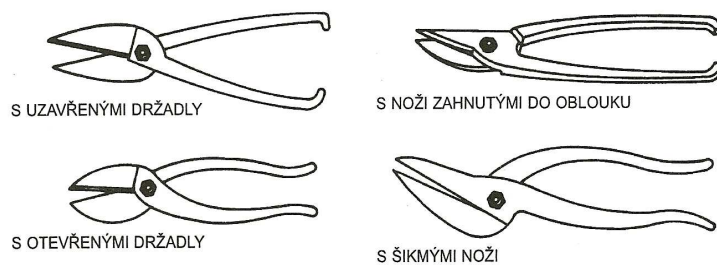
3.2 Žárové zinkování

Žárové zinkování je speciální technika pokovování ponorem. Zinek vytváří pevný a nepropustný povlak s dlouhodobou životností, který chrání ocel i elektrochemicky. Vhodné pro teploty do 200° C. [8]

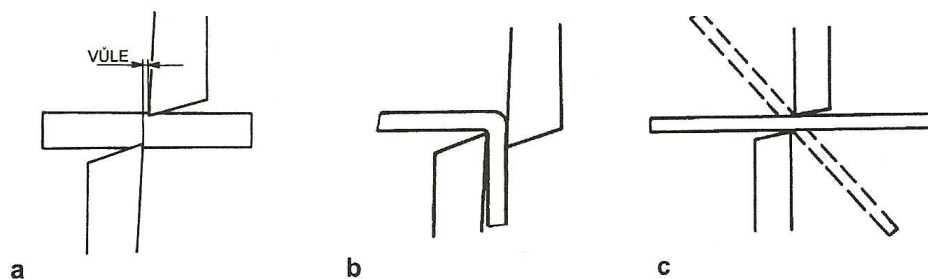
4 DĚLENÍ MATERIÁLU

4.1 Stříhání materiálu

Stříháním se rozumí dělení materiálu dvěma noži, kdy nevznikají třísky. Tento způsob dělení materiálu je velmi vhodný a rychlý pro plechy, dráty, tyče, pásovnu apod. Ke stříhání tenkých materiálů je zapotřebí vyvinout pouze malou sílu a k tomu se používají ruční nůžky (Obr.19). Použití ručních nůžek, maximální tloušťka plechu 1,5 mm. Pro stříhání silnějších plechů a materiálů jsou vhodné mechanizované nůžky poháněné elektromotorem. Nože musejí mít dostatečnou tloušťku a vhodný tvar, aby se velkým namáháním neohýbaly a správně stříhaly. Nože na materiál nepůsobí v jedné rovině. Břity nožů se při stříhání míjejí a je mezi nimi přiměřená vzdálenost – vůle (Obr.20). Velikost vůle závisí na tloušťce a pevnosti stříhaného materiálu. U ručních nůžek nemá být více než 0,01 mm. Mají-li nůžky příliš velkou vůli pak materiál nestříhají, ale jen ohýbají. Je-li vůle příliš malá, nůžky se otupí. Stříhaný materiál je namáhán silami, které jej chtějí otočit. Proto je nutné materiál při stříhání přidržovat. Velké kusy plechů nebo tlustší materiál by bylo namáhavé přidržovat. Takové kusy se mohou přichytit truhlářskými svěrkami ke stolu. Při stříhání vnikají oba břity nožů do materiálu současně. Materiál je nejprve stlačován a teprve potom postupně oddělován. Oba břity nožů musejí být ostré a bez rých a vrypů. [1]



Obr. 19 - Příklady ručních nůžek na plech



Obr. 20 - a)při správné vůli nůžky stříhají; b)při velké vůli nůžky ohýbají; c)bez přidržení se stříhaný plech otáčí

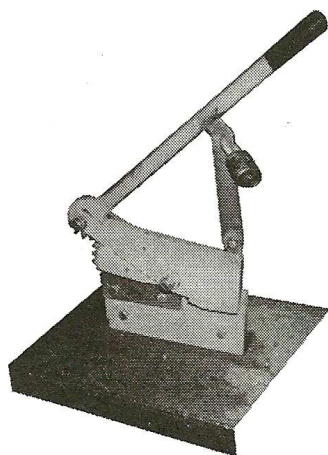
Příprava na stříhání

Stříháním se velmi namáhají břity nožů. Proto se volí u materiálu jen taková tloušťka, která je nezbytně nutná. Stříháním tlustšího materiálu se nůžky dříve opotřebují a je k tomu potřeba také vyvinout více fyzické síly. Provede se jasné orýsování, podle kterého se bude materiál stříhat. Rysky se nesmí zaměnit s náhodnými rýhami na plechu. Plech malého rozměru musí být svou větší plochou na pevné podložce, aby při stříhání nespádl ze stolu. Velký plech, který by se při stříhání těžko udržel na místě, je vhodné přichytit malými přenosnými svěráčky nebo svěrkami. [1]

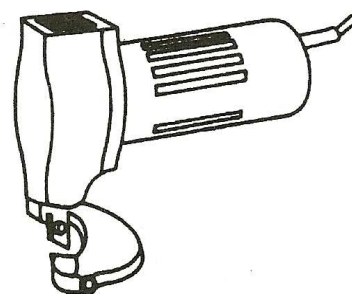
Postup při stříhání

Kratší řezy stříháme podle rysky tak, že horní nůž nesmí při stříhání rysku překrývat. Pokud není materiál připevněn ke stolu, musí se neustále přidržovat, aby se působením řezných sil neotáčel a neodtlačoval nože od sebe. Plech je vhodné při stříhání ručními nůžkami přidržovat rukou v rukavici. U velkých nůžek [pákových (Obr. 24) nebo tabulových] se přidržuje šroubem nebo pravítkem. U vystřihování oblouků nebo otvorů se nesmí zapomenout na přidavek. Stříhání kruhových tvarů se neprovádí najednou. Nejprve se plech stříhá kolem rysky a konečné přesné ustřížení se provádí jako druhé stříhání.

Elektrické nůžky (Obr. 25) stříhají tak, že se materiál vkládá mezi spodní nehybný a horní kmitající nůž. Oba nože mají poměrně krátké břity, takže se těmito nůžkami dají stříhat i oblouky i tvarové kusy. [1]



Obr. 21 - Pákové nůžky střední velikosti



Obr. 22 - Elektrické nůžky s krátkými noži pro stříhání tvarovaných plechů.

Úprava a kontrola

Ustřižený materiál má na sobě vždy nějakou alespoň minimální deformaci. Dost často zůstává ostrý otřep, malé ohnutí nebo tvarová deformace. Materiál se po ustřižení zbaví otřepů a ostrých hran pilníkem. U tlustých plechů to může být i na brusce. Ohnutí plechu nebo kulatiny se vyrovná úderem kladivem. Pokud potřebujeme vyrovnání vzhledově co nejpěknější nebo vyrovnáváme velký plech, provedeme to na vyrovnávacím lisu nebo za použití lišt z horní i dolní strany vyrovnávaného předmětu. [1]

5 VRUBOVÉ ÚČINKY

Velký vliv na pevnost a životnost výrobků mají také vrubové účinky. Při statickém zatížení omezuje vrub plastickou deformaci tělesa (zaškrcení tyče), a proto zvyšuje mez průtažnosti a konvenční mez pevnosti, která se blíží mezi skutečné pevnosti. Velmi ostrý vrub zvyšuje přechodovou teplotu dělicí oblast tvárných a křehkých lomů a může vést ke kvazi-křehkému lomu.

U únavového (cyklického) zatěžování působí vrub snížení odolnosti proti vzniku únavových trhlin, neboť se uplatňuje špička napětí, která se vyjadřuje součinitelem koncentrace napětí. Vrub mění napjatost ve svém okolí a vytváří víceosé napětí. Při únavovém namáhání se vyjadřuje vliv vrubu na únavovou pevnost hodnotou součinitele účinku vrubu (vyjadřujícího únavovou odolnost materiálu při tvoření trhlin v kořeni vrubu). Při hodnocení životnosti těles je vrubový účinek snížen, protože trhlina se z kořene vrubu šíří přes průřez již bez vlivu výchozího vrubu. [9]

5.1 Vrubová citlivost materiálu

Vrubové účinky jsou spjaty s citlivostí materiálu. Charakterizuje ji součinitel vrubové citlivosti, vyjadřující citlivost materiálu na vznik únavových trhlin v kořenech konstrukčních a technologických vrubů. Vrubová citlivost materiálu závisí nejen na materiálu, ale také na velikosti tělesa a geometrii vrubu, na technologickém zpracování povrchu těles a na podmínkách zatěžování (počtu cyklů zatížení, teplotě materiálu). [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZKUŠEBNÍ STROJ

V praktické části budu provádět zkoušku na tah. Zkouška bude prováděna na vzorcích o stejném rozměru, různých materiálů. Vzorky budou upnuty pomocí speciálního přípravku.

Zkouška byla prováděna na zkušebním stroji Liegende Zugprüfmaschine (vodorovný trhací stroj), typ: 500 ZH, na kterém je možné provádět jen zkoušku tahem. Stroj je propojen s ovládacím panelem a taktéž s počítačem, který je vybaven programem Messphysik. Pomocí tohoto programu je možné rychle a snadno vyhodnotit samotnou zkoušku, získat dané veličiny a také tahový diagram. Trhací stroj je pro zkoušení dílů délky až 12 m a maximální trhací síla je 500 kN.



Obr. 23 - Ovládací panel přístroje



Obr. 24 - Zkušební stroj

6.1 Zkoušený materiál

Při zkouškách jsem používal materiál z ocele, respektive ocele třídy 11 373, 11 523, 12 050. Materiál se vypaloval z plechu (pomocí technologie vypalování s autogenovými hořáky) nebo byl stříhán, řezán z pásoviny. Některé kusy bylo nutno ještě brousit na stojanové brusce, poté kusy byly poslány do zinkovny. Materiál, ze kterého byly zkušební vzorky zhotoveny, byl v surovém stavu a bez tepelné úpravy.

Podle normy EN ISO 1461 je tloušťka pozinkované vrstvy pro ocel tloušťky větší než 6 mm minimálně 70 μm a průměrně 85 μm .

V mém případě jsem z 16 měření naměřil průměrnou tloušťku zinkové vrstvy průměrně 143 μm , minimální hodnota 112 μm a maximální 178 μm . Tloušťka pozinkované vrstvy byla naměřena přístrojem Dualscope MP20.

Materiál:

Ocel třídy 11

U těchto ocelí je zaručen určitý obsah fosforu a síry (kromě ocelí automatových). Tyto oceli se vyrábí s obsahem uhlíku do 0,65% a jsou vhodné pro tváření. Jejich vlastnosti jsou odstupňovány v závislosti na obsahu uhlíku od nejmenší pevnosti v normalizačně žíhaném stavu od 340 MPa do 900 MPa.

Nejběžnější ocelí pro strojní součásti, jíž lze zušlechťovat je 11 500, (0,3%C) min. pevnost v normalizačně žíhaném stavu 500 MPa. Oceli 11 378, 11 483, 11 523 a 11 583 jsou označeny jako oceli jemnozrnné. Mají zvýšenou mez kluzu.

Ocel 11 373 – kusy byly vypalovány z plechu.

Ocel 11 523 – kusy byly vypalovány z plechu a stříhán z pásoviny.

Ocel třídy 12

Kromě ocelí třídy 12 obsahuje tato skupina konstrukční legované oceli tříd 13 až 16, s celkovým obsahem přísad prvků max. 5%.

Oceli třídy 12 jsou konstrukční ušlechtilé uhlíkové oceli, mají obsah C od 0.06 do 0.7% a některé, např. pružinové až 0.9%C

12 050 - uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení

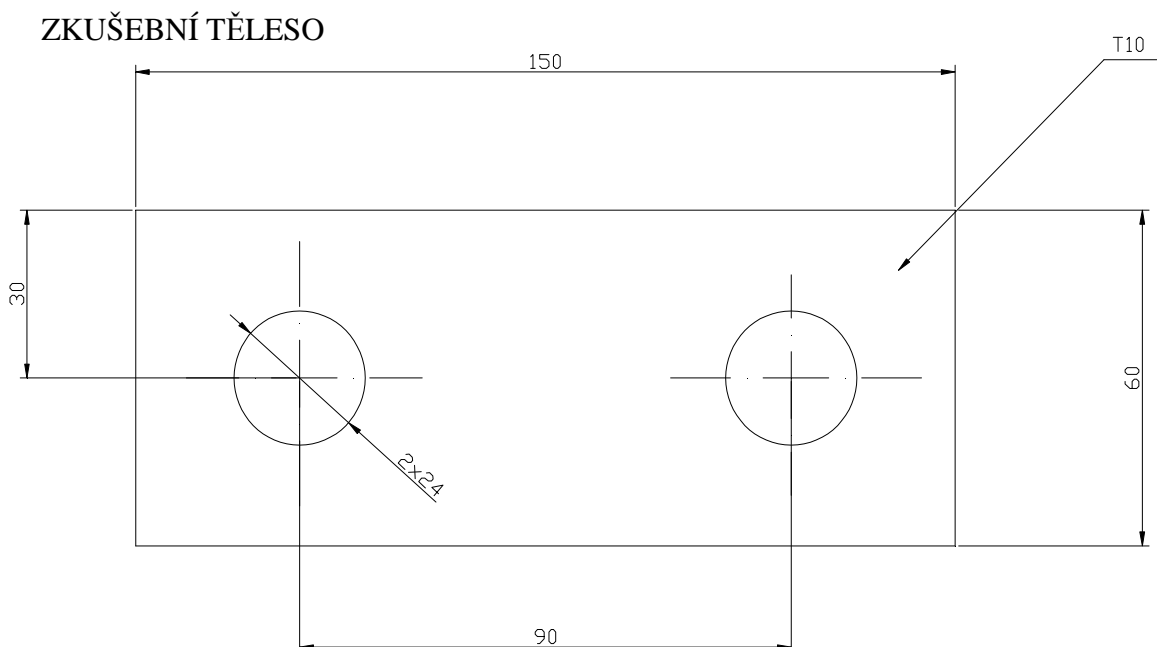
Ocel 12 050 – kusy byly řezány z pásoviny.

7 ZKOUŠKA TAHEM - EXPERIMENT

V této části bakalářské práce se budu zabývat získáváním a vyhodnocováním hodnot naměřených na trhacím stroji. Zkoušky byly provedeny pro vzorky, které byly již specifikované.

Zkoušené vzorky měly stejné rozměry. Délku 150 mm, šířku 60 mm a jejich tloušťka byla 10 mm (viz zkušební těleso). Je třeba také brát zřetel na dostupnost materiálu. Čtyři série byly provedeny na deseti, respektive třech kusech. Celkový počet zkoušek byl 32.

Všechny zkoušky probíhaly na trhacím stroji za stejných podmínek při rychlosti 20 mm/min a navyšováním zatěžovací síly od 0 kN k 400 kN.



7.1 Zkoušky tahem při stejném upnutí vzorku

Zkoušky byly prováděny ve čtyřech sériích, pro každý materiál. U každé zkoušky uvedu jeden graf, fotku daného vzorku k témuž grafu, fotku vzorku po zkoušce a také celkovou tabulku všech naměřených hodnot. U první série materiálu (11373) uvedu i certifikát ke grafu. Z úsporných důvodů v dalších zkouškách uvedu vždy jen jeden graf a fotku zkušební vzorku a také kusy před zkouškou jsou všechny stejné, není důvod proto je nutno znovu uvádět. Certifikát je také vesměs stejný, jen se mění naměřené hodnoty. Všechny ostatní podrobnosti zkoušek jsem schopen na požádání předložit.

Zkouška pro materiál 11373

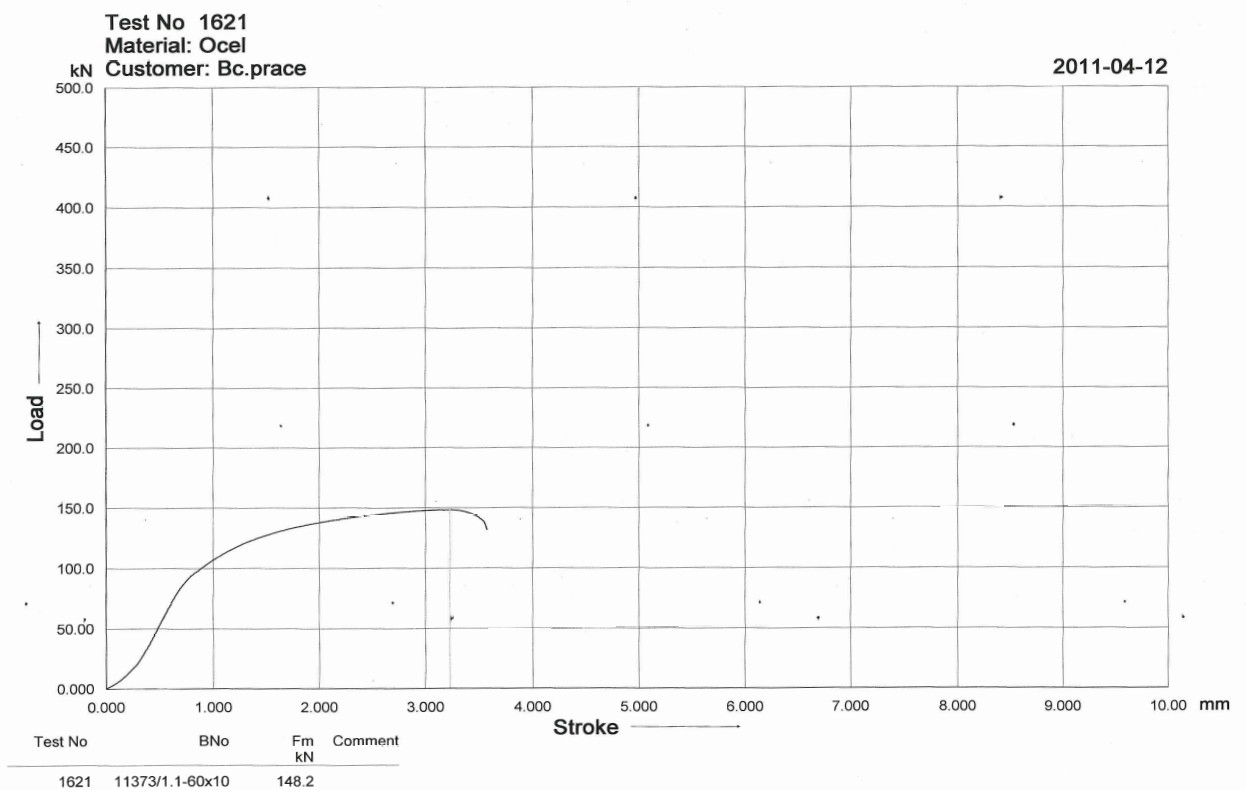
Jako první byly vykonané zkoušky u nepozinkované oceli z materiálu 11373, zkušební tělesa byly vypalované z plechu.



Obr. 25 - Zkušební těleso před zkouškou



Obr. 26 - Zkušební těleso po zkoušce



Obr. 27 - Naměřená závislost mezi silou a deformací u prvního zkušebního tělesa

Test Certificate

Metals Tensile Test

Artikel Number.....plech 11373/1.1
 Drawing Number.....VZOREK
 Customer.....Bc.prace
 Test Engineer.....Barta

Specified Value.....400 KN
 Material.....Ocel
 Date.....2011-04-12

Testing machine.....DIGICON
 Pretension.....0.4 kN
 Gripped length.....100 mm
 Test speed 1.....0 % → 20 mm/min

Artikel / Projekt.....2011
 Parameter set.....QS-Intern

Legend

BNo.....Batch number
 Fm.....Maximum load

Comment.....Comment

Test No	BNo	Fm kN	Comment
1621	11373/1.1-60x10	148.2	

Obr. 28 - Certifikát ke zkoušce

Tabulka naměřených hodnot.

Vzorek číslo	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	148,2	148,1	152	154,2	152,4	151 ± 1,09 (2,43)

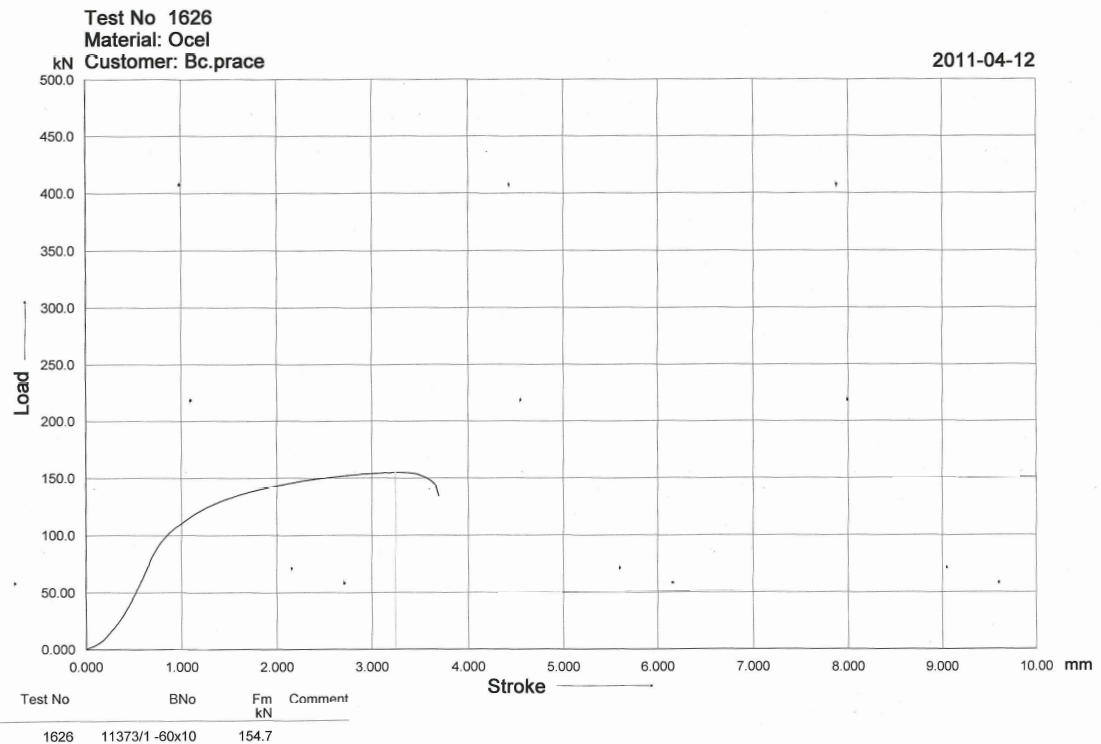
Zkoušky pozinkovaných prvků, materiál 11373.



Obr. 29 - Pozinkovaný kus před zkouškou



Obr. 30 - Pozinkovaný kus po zkoušce



Obr. 31 - Záznam zkoušky

V grafu je zachyceno prodloužení, na pomyslné ose x a na ose y je zachycena síla. Pod grafem je také vyhodnocena maximální síla, pevnost materiálu.

Test Certificate

Metals Tensile Test

Artikel Number.....plech 11373/1	Specified Value.....400 kN
Drawing Number.....VZOREK	Material.....Ocel
Customer.....Bc.prace	Date.....2011-04-12
Test Engineer.....Barta	

Testing machine.....DIGICON
Pretension.....0.4 kN
Gripped length.....100 mm
Test speed 1.....0 % -> 20 mm/min

Artikel / Projekt.....2011
Parameter set.....QS-Intern

Legend

BNo.....Batch number	Comment.....Comment
Fm.....Maximum load	

Test No	BNo	Fm kN	Comment
1626	11373/1 -60x10	154.7	

Obr. 32 - Certifikát ke zkoušce

Souhrn naměřených hodnot

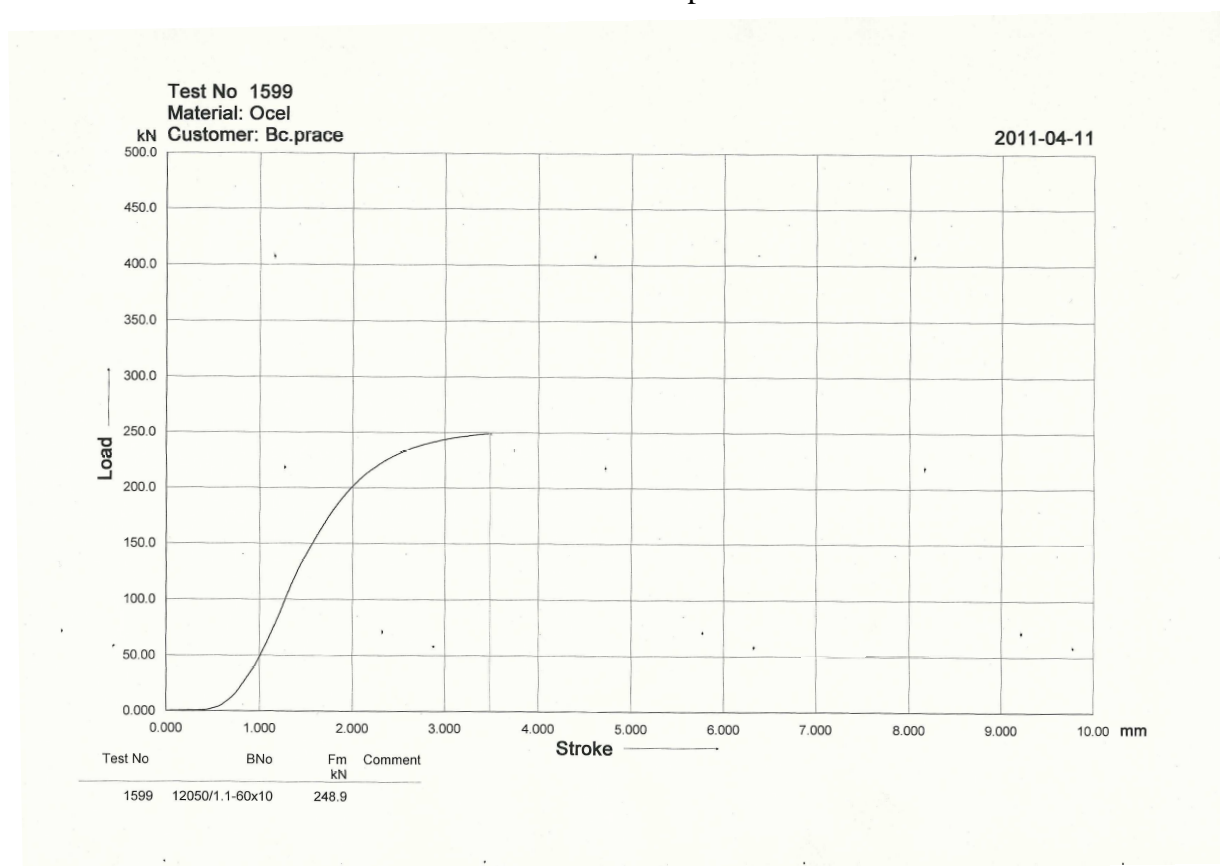
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrnutí materiálu (kN)	154,7	152,6	154,3	154,3	154,3	154 ± 0,33 (0,74)

Zkouška pro materiál 12050

Surová ocel, materiál 12050. Tyto zkušební tělesa byly řezány z pásoviny.



Obr. 33 - Zkušební těleso po zkoušce tahem

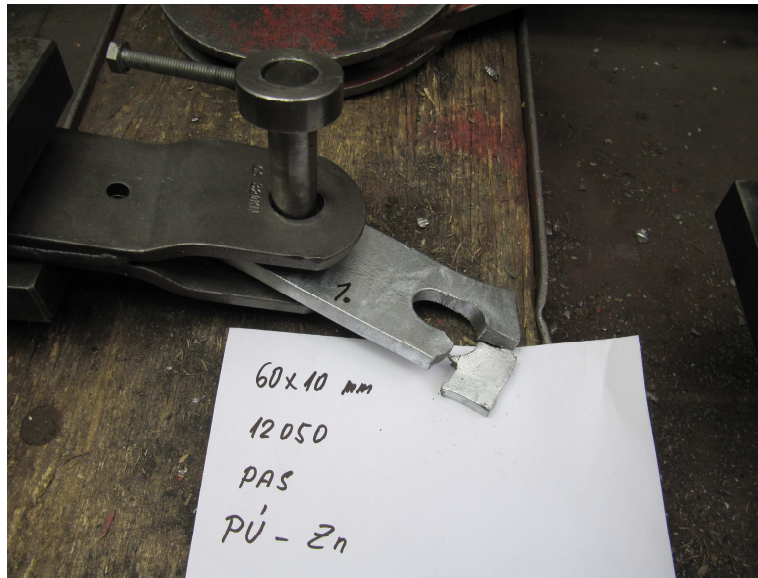


Obr. 34 - Záznam tahové zkoušky

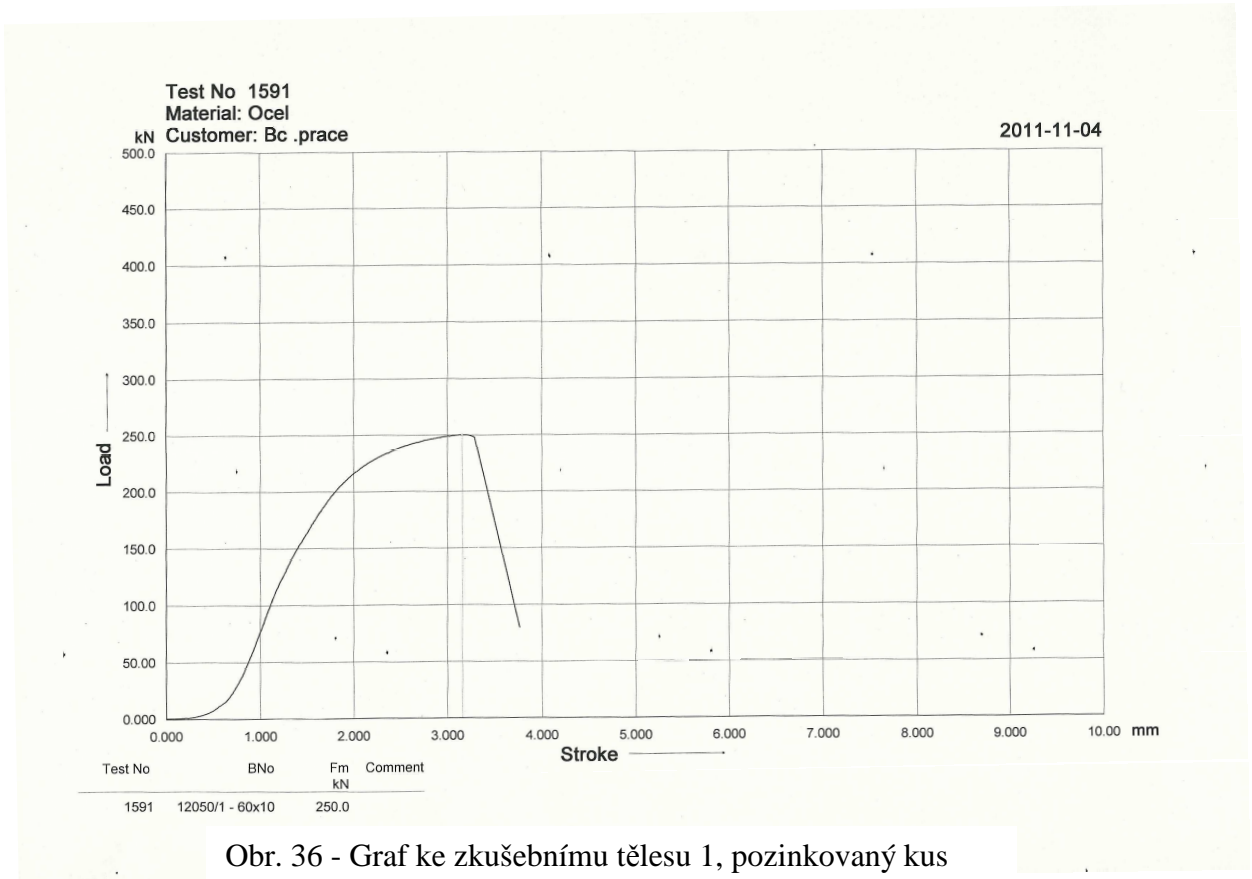
Souhrn měření.

Vzorek číslo	1.1	2.1	3.1	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	248,9	250,4	253,1	250,8 ± 1 (1,74)

Pozinkované zkušební tělesa, materiál 12050.



Obr. 35 - Pozinkovaný kus po zkoušce



Obr. 36 - Graf ke zkušebnímu tělesu 1, pozinkovaný kus

Celkové měření pozinkovaných kusů.

Vzorek číslo	1	2	3	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	250	199,3	255,7	235 ± 11,34 (25,35)

Zkouška pro materiál 11523

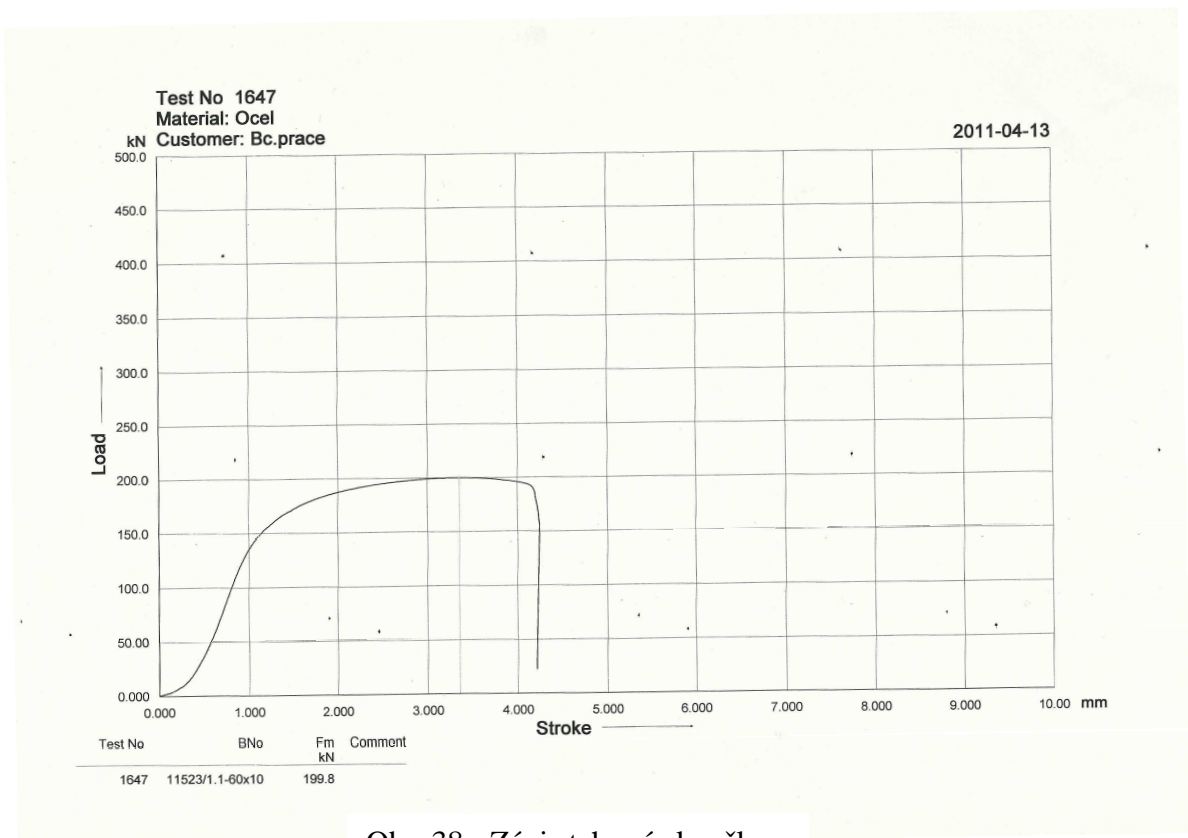
Zkušební tělesa z nepozinkované ocele, materiál 11523. Tyto díly byly vypalovány z plechu.



Obr. 37 - Zkušební těleso po zkoušce tahem -

Souhrn měření. nepozinkované

Vzorek číslo	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	199,8	204,1	206,2	203,1	204,2	203,5 ± 0,94 (2,1)

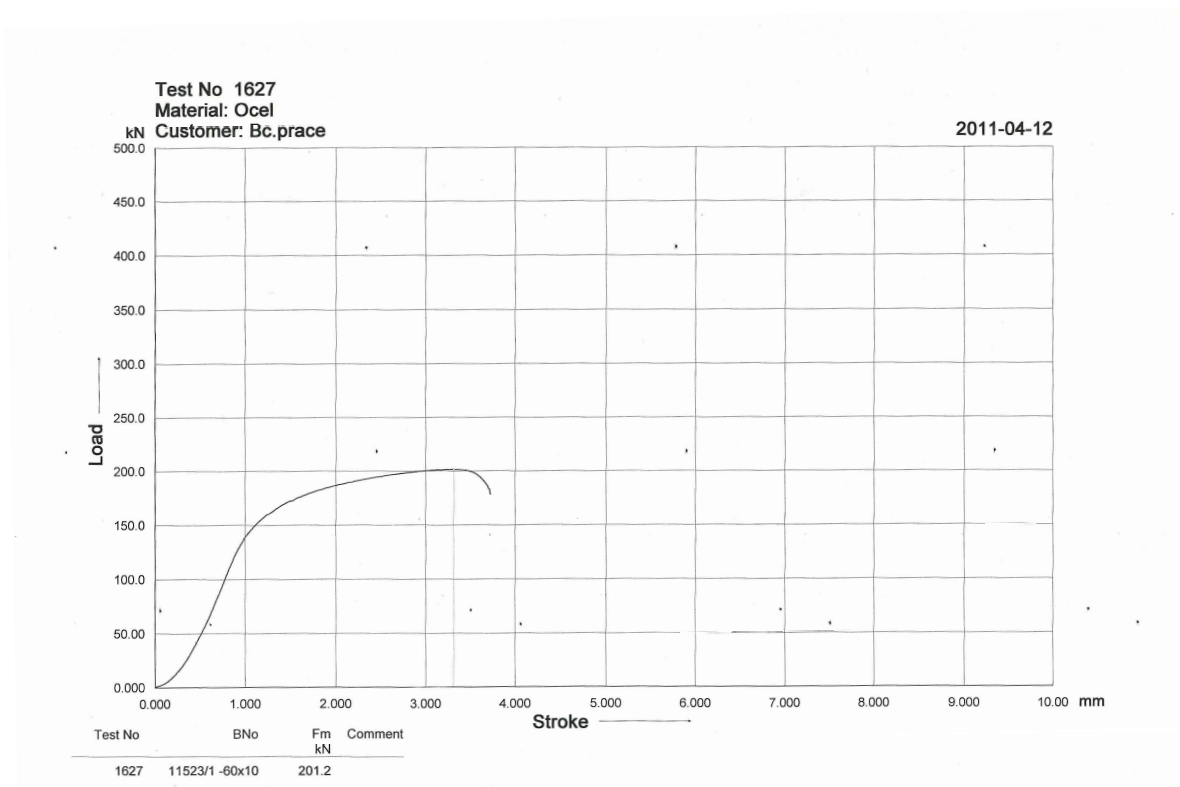


Obr. 38 - Zápis tahové zkoušky

Zkušební tělesa po pozinkování, materiál 11523.



Obr. 39 - Pozinkované zkušební těleso po tahové zkoušce



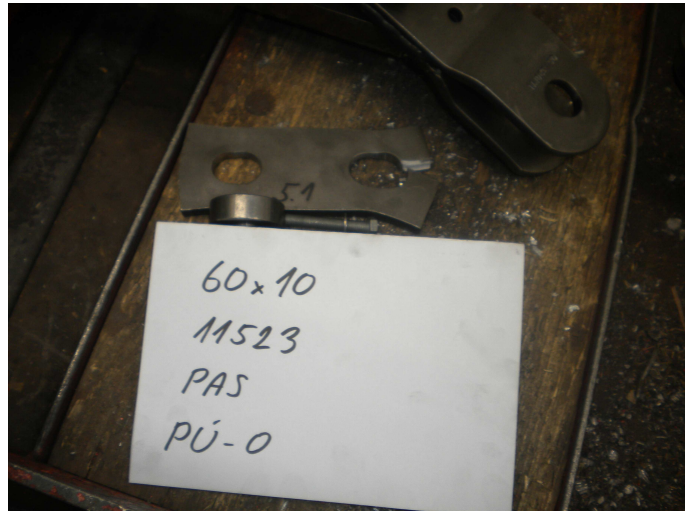
Obr. 40 - Naměřená závislost mezi silou a prodloužením u pozinkovaného zkušebního tělesa

Všechny naměřené hodnoty u pozinkovaných zkušebních těles.

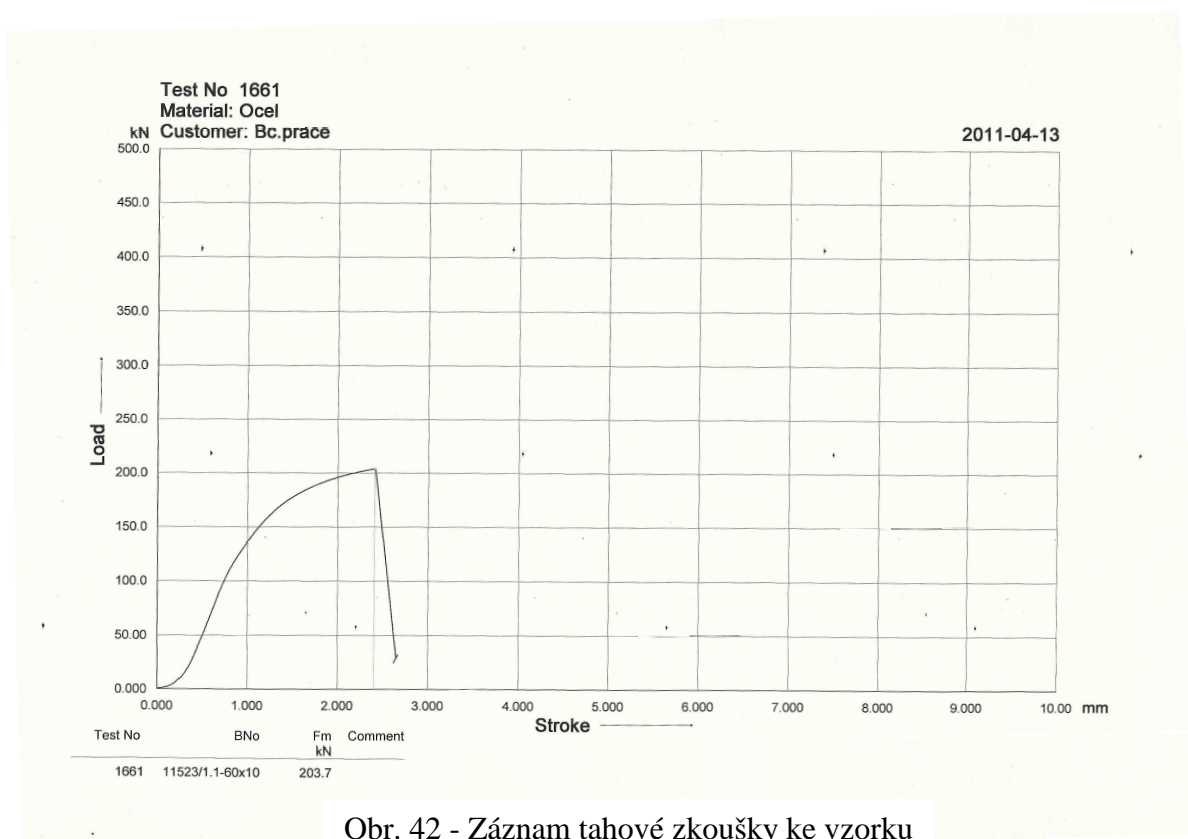
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylna)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	201,2	204,6	202,3	201,3	194,5	200,8 ± 1,51 (3,37)

Zkouška pro materiál 11523

Nepozinkovaná ocel, kusy z materiálu 11523, ale s tím rozdílem, že kusy byly stříhány z pásoviny.



Obr. 41 - Zkušební těleso po zkoušce tahem - stříhán

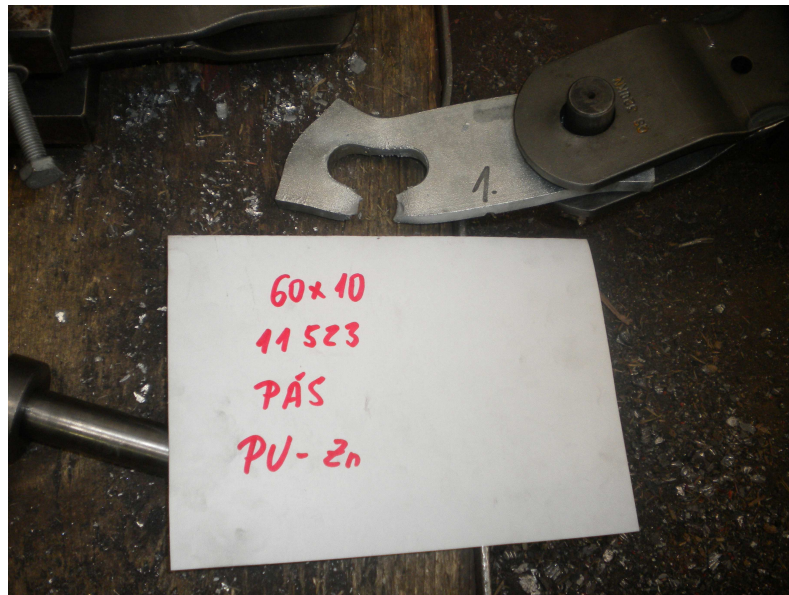


Obr. 42 - Záznam tahové zkoušky ke vzorku

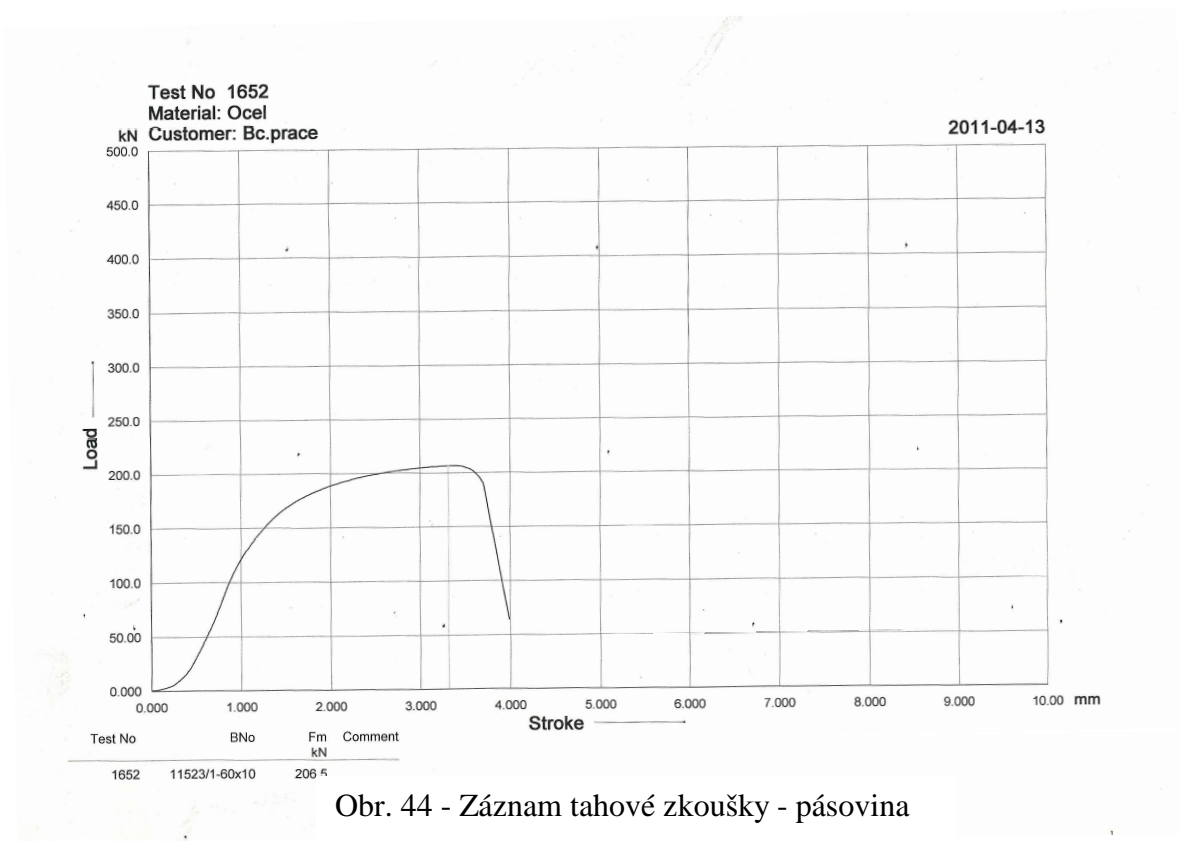
Přehled naměřených hodnot.

Vzorek číslo	1.1	2.1	3.1	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylka)
Síla roztrnutí materiálu (kN)	203,7	210	201,5	205 ± 1,61 (3,6)

Poslední část, pozinkované zkušební tělesa, materiál 11523 – pásovina.



Obr. 43 - Zkušební těleso po tahové zkoušce



Obr. 44 - Záznam tahové zkoušky - pásovina

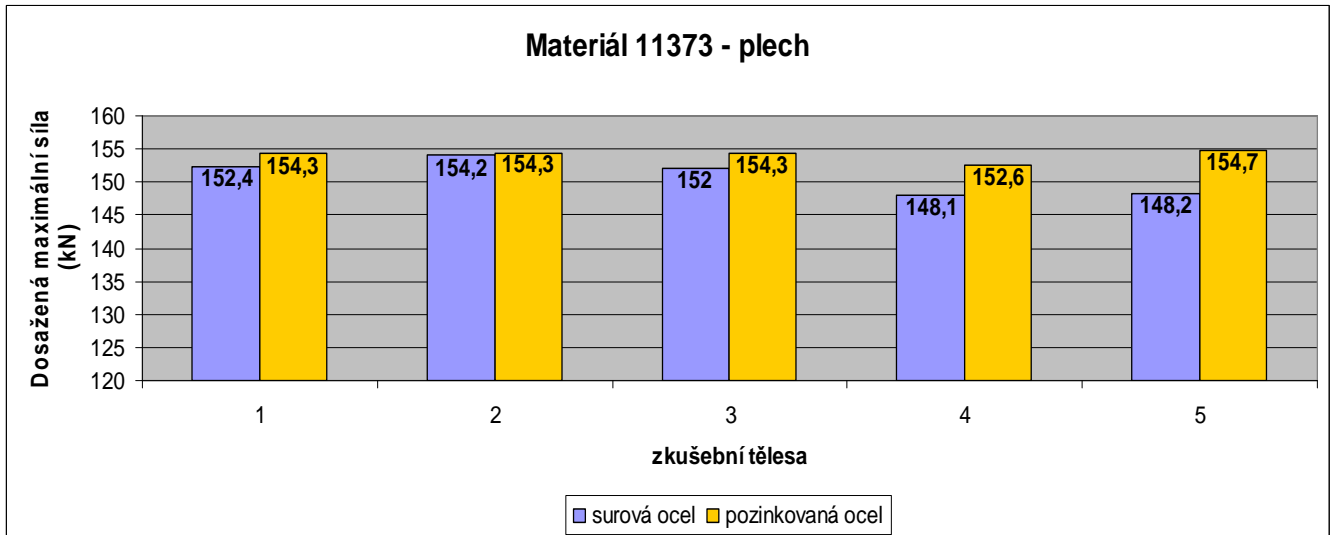
Přehled naměřených hodnot.

Vzorek číslo	1	2	3	Průměr ± sm.chyba (sm.ochylnka)
Síla roztrhnutí materiálu (kN)	206,5	210	207,9	208,1 ± 0,64 (1,44)

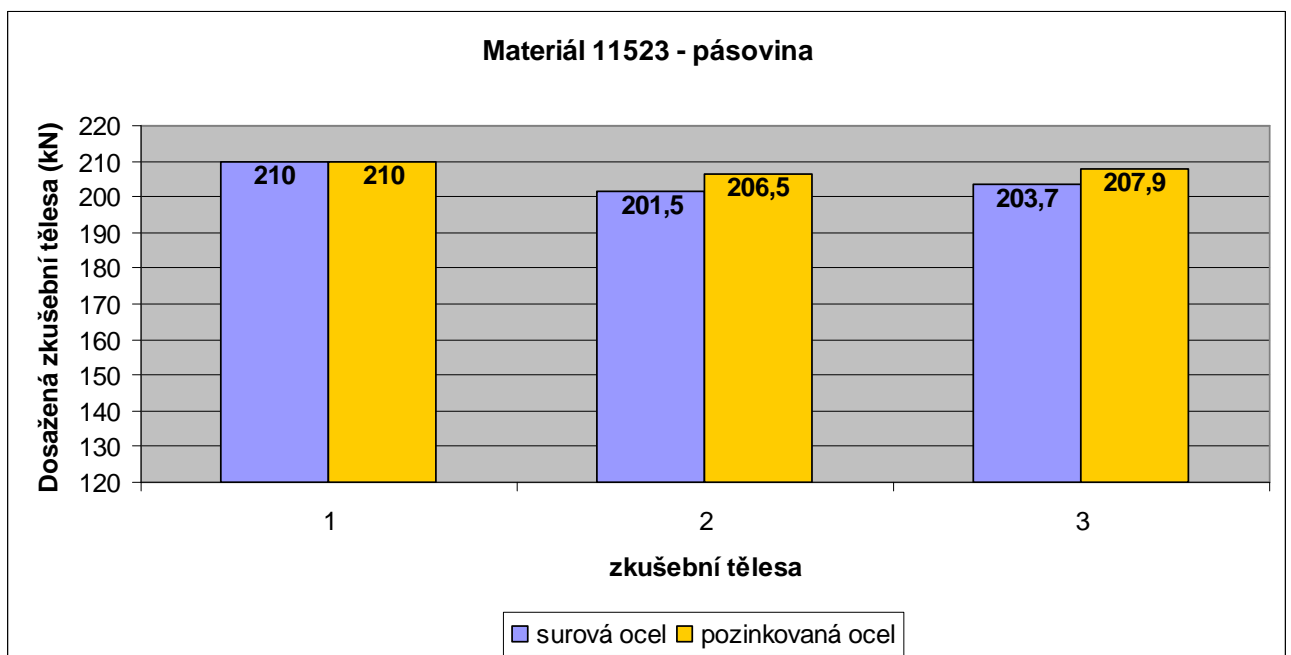
8 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

V této kapitole se budu zabývat souhrnem všech naměřených výsledků. Pomocí grafů budou dobře znázorněny rozdíly naměřených hodnot u různých materiálů.

Na prvních dvou grafech bude zachyceno, jak se hodnoty změnily a po pozinkování zvětšily a také ustálily.

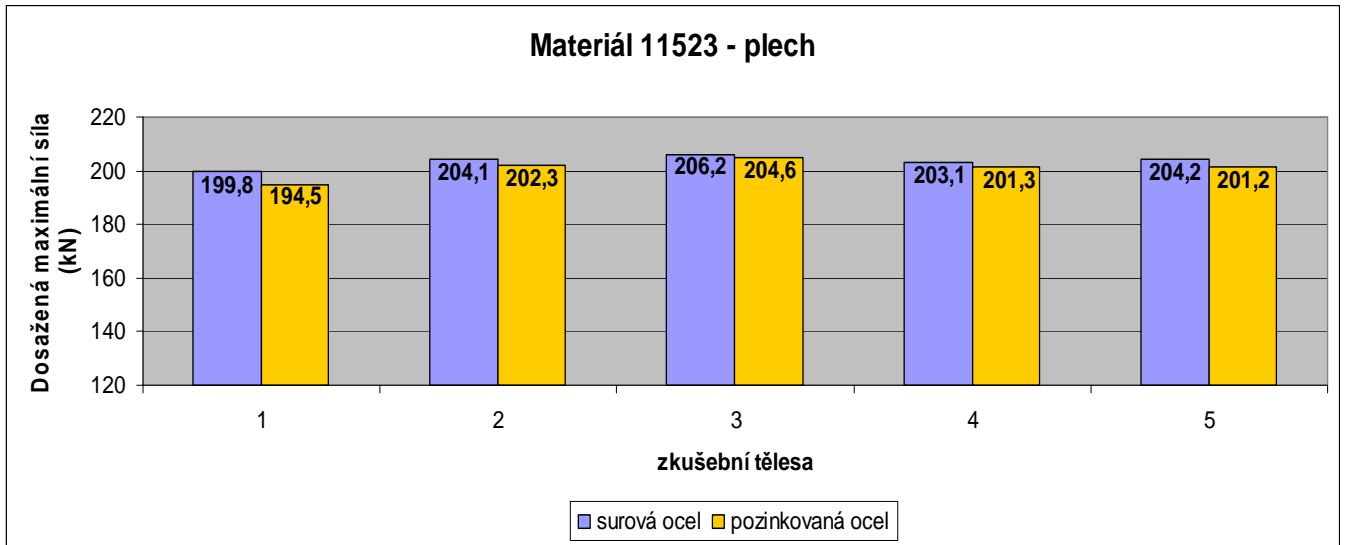


Graf 1 - Naměřené výsledky, materiál 11373



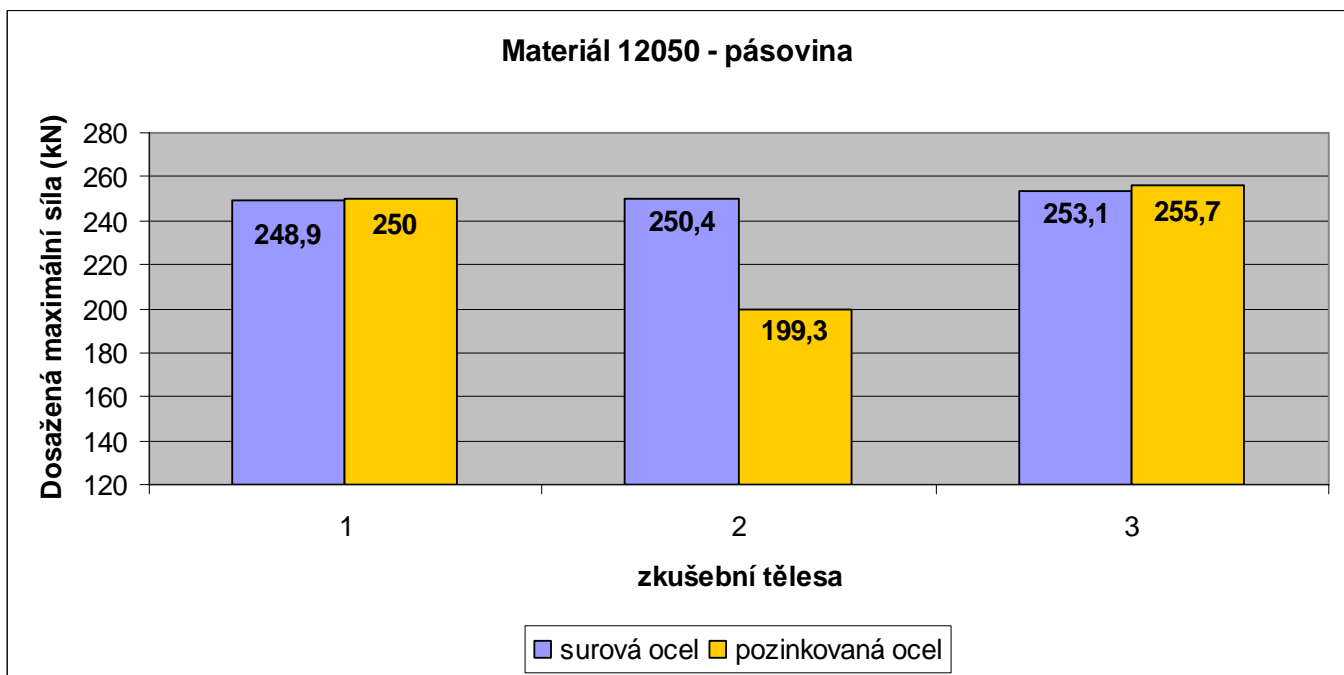
Graf 2 - Naměřené výsledky pro materiál 11523

U tohoto grafu bude znázorněno snížení pevnosti v tahu pozinkovaných kusů.



Graf 3 - Souhrn naměřených výsledků

V tomto případě bude vidět značný rozdíl při měření.



Graf 4 – Naměřené hodnoty pro materiál 12050

9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z naměřených hodnot můžeme konstatovat, že u materiálu 11373 zhotoveného vypalováním z plechu nastaly určité změny. V průměru nastalo navýšení pevnosti zkoušeného materiálu cca o 3 kN. U nepozinkovaných kusů jsem naměřil průměrnou pevnost v tahu $151 \pm 1,09$ kN a vypočítaná směrodatná odchylka 2,43 a u pozinkovaných vzorků jsem naměřil průměrně $154 \pm 0,33$ kN, vypočítaná směrodatná odchylka 0,74.

Zkušební vzorky z materiálu 11523, které byly zhotoveny stříháním pásoviny nastalo také navýšení pevnosti v tahu průměrně cca o 3,1 kN. U vzorků ze surové oceli jsem naměřil průměrnou pevnost $205 \pm 1,61$ kN, směrodatná odchylka 3,6. U pozinkovaných prvků jsem naměřil průměrnou hodnotu pevnosti $208,1 \pm 0,64$ kN, směrodatná odchylka 1,44.

Při zkoušce z materiálu 12050, který byl zhotoven řezáním pásoviny, v jednom případě byla dosažena síla v přetrhnutí u pozinkovaného kusu jen 199,3 kN, což je o 51,5 kN méně vůči průměrné hodnotě surových vzorků.

U tahových zkoušek z materiálu 11523 nastalo snížení pevnosti v průměru cca o 2,7 kN. U nepozinkovaných vzorků jsem naměřil pevnost $203,5 \pm 0,94$ kN, směrodatná odchylka 2,1 a u pozinkovaných vzorků jsem naměřil průměrnou hodnotu pevnosti $200,8 \pm 1,51$ kN a vypočítaná směrodatná odchylka 3,37.

ZÁVĚR

Závěrem vyhodnotíme otázku dosažené pevnosti surového materiálu a u materiálu s pozinkovanou vrstvou. Problematikou vyhodnocování bylo, že některá zkušební tělesa byla zhotovena vypalováním, stříháním nebo procesem pozinkování a z tohoto důvodu nemůžeme přesně stanovit, zda nedošlo k pochybení lidského faktoru obsluhy strojů.

U materiálu 11373,11523 nastalo navýšení pevnosti v tahu a také naměřená pevnost se u pozinkovaných kusů ustálila. Důvod zvýšení pevnosti po úpravě zinkováním se složitě stanovuje. Jedna série byla vypalována, druhá stříhána, ale dá se předpokládat, že tento stav nastal v důsledku tepelné úpravy materiálu při žárovém zinkování.

U materiálu 12050 byla naměřena nepředpokládaná hodnota pevnosti v tahu. Domnívám se, že nesrovnalost vznikla v důsledku chybného vyvrtání otvorů pro upínací trn.

Poslední série, u materiálu 11523 se prokázalo naopak snížení pevnosti v tahu. Tyto vzorky byly zhotovené na vypalovacím stroji s autogenovými hořáky. V důsledku toho předpokládám, že by mohla nastat částečná změna struktury základního materiálu → pokles pevnosti v tahu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUFKA, J. Práce s kovy. GRADA Publishing, 1.vyd. 1999. 83 s. ISBN 80-7169755-9
- [2] PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu I. Brno: CERM, 2.vyd. 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1
- [3] PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: CERM, 2.vyd. 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- [4] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J. Strojírenská technologie 1. Praha: SCIENTIA, spol., 4.vyd. 2007. 266 s. ISBN 978-80-86960-26-5
- [5] HLUCHÝ, M., HANĚK, V. Strojírenská technologie 2. Praha: SCIENTIA, spol., 2.vyd. 2001. 176 s. ISBN 80-7183-245-6
- [6] KORBAŘ, T., STRÁNSKÝ, A. Technický slovník naučný. 1.vyd. Praha: SNTL, 1963. 676 s. ISBN 04-029-63
- [7] PLUHAŘ, J., a kol. Nauka o materiálech. Praha: SNTL, 1989. 552 s. ISBN 04-205-89
- [8] *Pozinkování* - [online]. 2011 [cit. 2011-01-04]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pozinkov%C3%A1n%C3%AD>
- [9] *Vrubové účinky* - [online]. 2011 [cit. 2011-02-03]. Dostupné z WWW: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=105035&title=vrubov%FD%20%FA%E8inek&s_lang=2
- [10] *Vrubová citlivost materiálu* - [online]. 2011 [cit. 2011-02-03]. Dostupné z WWW: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=105030&title=vrubov%E1%20citlivost%20materi%E1lu&s_lang=2

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

l_0	počáteční délka zkoušeného vzorku [mm]
d_0	průměr zkoušené tyče [mm]
R_m	mez pevnosti v tahu [MPa]
F_m	maximální zatěžující síla [N]
S_0	počáteční průřez zkoušeného materiálu [mm ²]
l	délka při přetržení [mm]
Δl	změna délky [mm]
ε	poměrné prodloužení [-]
δ	tažnost [%]
φ	koncentrace [%]
R	napětí [MPa]
R_u	mez úměrnosti v tahu [MPa]
E	modul pružnosti v tahu [MPa]
R_e	mez elasticity v tahu [MPa]
R_k	mez kluzu v tahu [MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu [MPa]
h_0	původní výška zkoušeného tělesa [mm]
r	poloměr tyče [mm]
l	délka vzorku [mm]
ΔL	přírůstek délky [mm]
y	průhyb tyče [mm]
L_u	konečná délka po přetržení [mm]
S_u	nejmenší plocha [mm ²]
R_{et}	mez pevnosti v tlaku [MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Rychlosti koroze pro první rok koroze pro jednotlivé stupně agresivity	13
Obr. 2 - Vliv korozní únavy na průběh Wöhlerovy křivky.....	15
Obr. 3 - Schéma rozložení bludného proudu z elektrické dráhy.....	15
Obr. 4 - Druhy koroze podle vzhledu a jejich metalografické hodnocení	16
Obr. 5 - Izolační spoj dvou různých materiálů v korozním prostředí.....	18
Obr. 6 - Příklad vhodného řešení reakční nádoby.....	18
Obr. 7 - Katodická ochrana kovů	19
Obr. 8 - Koroze u zinkového a cínového povlaku	21
Obr. 9 - Univerzální zkušební stroj.....	24
Obr. 10 - Zkušební tyče pro zkoušku tahem – a) před zkouškou, b) po zkoušce	25
Obr. 11 - Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké nelegované oceli.....	26
Obr. 12 - Diagram pracovní oceli s výraznou mezí kluzu a oceli bez výrazné meze kluzu	27
Obr. 13 - Pracovní diagram pro některé konstrukční materiály.....	28
Obr. 14 - Zkouška tlakem	28
Obr. 15 - Pracovní diagram tlakové zkoušky měkké nelegované oceli	29
Obr. 16 - Zkouška ohybem	30
Obr. 17 - Zkouška krutem.....	30
Obr. 18 - Zkouška stříhem	31
Obr. 19 - Příklady ručních nůžek na plech.....	33
Obr. 20 - a)při správné vůli nůžky stříhají; b)při velké vůli nůžky ohýbají; c)bez přidržení se stříhaný plech otáčí.....	33
Obr. 21 - Pákové nůžky střední velikosti.....	34
Obr. 22 - Elektrické nůžky s krátkými noži pro stříhání tvarovaných plechů	34
Obr. 23 - Ovládací panel přístroje.....	38
Obr. 24 - Zkušební stroj.....	38

Obr. 25 - Zkušební těleso před zkouškou	41
Obr. 26 - Zkušební těleso po zkoušce	41
Obr. 27 - Naměřená závislost mezi silou a deformací u prvního zkušebního tělesa	41
Obr. 28 - Certifikát ke zkoušce	42
Obr. 29 - Pozinkovaný kus před zkouškou	42
Obr. 30 - Pozinkovaný kus po zkoušce	42
Obr. 31 - Záznam zkoušky	43
Obr. 32 - Certifikát ke zkoušce	43
Obr. 33 - Zkušební těleso po zkoušce tahem	44
Obr. 34 - Záznam tahové zkoušky	44
Obr. 35 - Pozinkovaný kus po zkoušce	45
Obr. 36 - Graf ke zkušebnímu tělesu 1, pozinkovaný kus	45
Obr. 37 - Zkušební těleso po zkoušce tahem – nepozinkované	46
Obr. 38 - Zápis tahové zkoušky	46
Obr. 39 - Pozinkované zkušební těleso po tahové zkoušce	47
Obr. 40 - Naměřená závislost mezi silou a prodloužením u pozinkovaného zkušebního tělesa	47
Obr. 41 - Zkušební těleso po zkoušce tahem – stříhán	48
Obr. 42 - Záznam tahové zkoušky ke vzorku	48
Obr. 43 - Zkušební těleso po tahové zkoušce	49
Obr. 44 - Záznam tahové zkoušky – pásovina	49

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Naměřené výsledky, materiál 11373	50
Graf 2 - Naměřené výsledky pro materiál 11523	50
Graf 3 - Souhrn naměřených výsledků.....	51
Graf 4 – Naměřené hodnoty pro materiál 12050	51