



Stanovení vlivu teploty na mechanické vlastnosti zvoleného materiálu při zkoušce tahem

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Vojtěch Horáček**
Vedoucí práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Stanovení vlivu teploty na mechanické vlastnosti zvoleného materiálu při zkoušce tahem

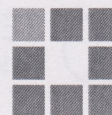
Jméno a příjmení: Vojtěch Horáček
Osobní číslo: S18000336
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: 2018/2019

Zásady pro vypracování:

1. Základní rozdělení a typy zkoušek pro hodnocení mechanických vlastností kovů.
2. Hodnocení mechanických vlastností materiálu pomocí statické zkoušky tahem.
3. Vliv teploty na mechanické vlastnosti kovových materiálů.
4. Experimentální zjištění vlivu teploty na změnu mechanických vlastností materiálu při statické zkoušce tahem.
5. Statistické vyhodnocení experimentu.
6. Závěr.



Rozsah grafických prací: tabulky, grafy
Rozsah pracovní zprávy: cca 30 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] KUHN, H., D. MEDLIN, ed. *ASM HANDBOOK Volume 8 – Mechanical Testing and Evaluation*. 10th ed. Materials Park: ASM International, 2000. s. 998. ISBN 0-87170-389-0.
- [2] PÖHLANDT, K. *Materials Testing for the Metal Forming Industry*. Berlin: Springer-Verlag, 1989. s. 226. ISBN 3-540-50651-9.
- [3] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 64 s. Třídící znak 420310.
- [4] VELES, P. *Mechanické vlastnosti a zkoušení kovov*. Bratislava: ALFA, 1985. s. 401. ISBN: 063-552-89.
- [5] NEUBAUER, J., SEDLAČÍK, M., KRÍŽ, O. *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech*. 2. rozš. vydání. Praha: Grada, 2016. s. 278. ISBN 978-80-247-5786-5.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání práce: 31. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci 1. listopadu 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

24. 6. 2019

Vojtěch Horáček

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem teploty na mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli 1.4301 při statické zkoušce tahem. V teoretické části, jsou uvedeny nedestruktivní a destruktivní zkoušky materiálů. Dále se tu popisuje fotogrammetrie, pomocí jejíchž principů se měří deformace. V experimentální části byl zkoumán vliv teploty na mechanické vlastnosti oceli 1.4301 pomocí statické zkoušky tahem. Získané hodnoty byly následně podrobeny analýze rozptylu a poté vyhodnoceny.

Klíčová slova

Nedestruktivní zkoušky, destruktivní zkoušky, mechanické vlastnosti, statická zkouška tahem, korozivzdorné oceli

Annotation

This bachelor thesis deals with the effects of temperature on the mechanical properties of corrosion resistant steel 1.4301 in static tensile test. In the theoretical part, there are listed nondestructive and destructive tests of materials. Furthermore, it is also focused on photogrammetry and its principles. In the practical part of the thesis, the effects of temperature on the mechanical properties of the steel 1.4301 were examined in the static tensile test. The obtained results were then subjected to the dispersion analysis and evaluated.

Key words

Nondestructive testing, destructive testing, mechanical properties, static tensile test, corrosion resistant steel

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Pavlovi Solfronkovi, Ph. D. za jeho odbornou pomoc, připomínky, poskytnuté materiály a čas, který mi věnoval při tvorbě této bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodině za neustálou podporu při studiu.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod.....	9
2. Teoretická část.....	10
2.1. Nedestruktivní zkoušky - defektoskopie	10
2.1.1. Pojem vada a rozdělení vad	10
2.1.2. Defektoskopické zkoušky povrchových vad	11
2.1.3. Defektoskopické zkoušky vnitřních vad.....	13
2.2. Destruktivní zkoušky	15
2.2.1. Technologické vlastnosti a jejich zkoušení	15
2.2.2. Mechanické vlastnosti.....	17
2.2.3. Mechanické zkoušky	18
2.2.3.1. Mechanické zkoušky statické	18
2.2.3.2. Mechanické zkoušky dynamické	21
2.3. Statická zkouška tahem.....	23
2.3.1. Zkušební těleso	25
2.3.2. Zkouška tahem za vyšších teplot.....	26
2.4. Fotogrammetrie	27
2.4.1. Rozdělení fotogrammetrie	27
2.4.2. Aplikace fotogrammetrie	28
2.5. Korozivzdorné oceli.....	29
3. Experimentální část.....	31
3.1. Specifikace zkoušeného materiálu.....	32
3.2. Statická zkouška tahem.....	33
3.3. Vyhodnocení zkoušky.....	36
3.3.1. Analýza rozptylu ANOVA	39
4. Závěr	42
Literatura	43
Seznam příloh	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Význam	Jednotka
h_0	Původní výška	[mm]
d_0	Původní průměr	[mm]
R_{md}	Pevnost v tlaku	[MPa]
F_{max}	Maximální síla při porušení	[N]
S_0	Původní průřez	[mm ²]
R_{mo}	Pevnost v ohybu	[MPa]
M_{Omax}	Maximální ohybový moment	[N.m]
W_O	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]
R_{ms}	Pevnost ve stříhu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{mk}	Pevnost v krutu	[MPa]
M_{kmax}	Maximální krouticí moment	[N.m]
W_k	Průřezový modul odporu v krutu	[mm ³]
σ_c	Mez únavy	[MPa]
σ_n	Časová mez únavy	[MPa]
F	Síla; Testovací kritérium pro F-test	[N]; [-]
ΔL	Absolutní prodloužení	[mm]
R	Smluvní napětí	[MPa]
ε	Poměrná deformace (prodloužení)	[-]
L_u	Délka vzorku po zkoušce	[mm]
L_0	Původní délka vzorku	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
A	Tažnost	[%]
Z	Kontrakce	[%]
S_u	Minimální průřez po lomu	[mm ²]
RT	Room temperature (pokojová teplota)	
H_0	Nulová hypotéza	
H_1	Alternativní hypotéza	
α	Hladina významnosti	[%]
F_{krit}	Kritická hodnota pro F-test	

1. Úvod

Požadavky na kovové materiály stále rostou, ale při jejich splnění musí být zaručena bezpečnost a spolehlivost vyráběných součástí, strojů a různých konstrukcí. Pro zjištění jestli daný materiál splňuje všechny požadavky, se musejí zjistit potřebné vlastnosti materiálu a chování materiálu v provozním prostředí. Tyto vlastnosti se určují pomocí různých zkoušek, které jsou nedílnou součástí každého výrobního procesu. Zkoušky se dělí např. podle účinku zatížení na zkušební těleso (destruktivní a nedestruktivní).

U zkoušení jsou potřeba také vhodné měřicí přístroje. V této práci využíváme optickou metodu měření, která funguje na principu fotogrammetrie. Díky těmto optickým metodám měření se výroba ve strojírenství zrychluje, zkvalitňuje a zlevňuje.

Tato bakalářská práce se řešila ve spolupráci se společností Lersen, s.r.o, která se zabývá výrobou vzduchotechniky. Předmětem této práce bylo na základě požadavků vybrat vhodný materiál pro výrobu výlisku teplosměnné lamely ohřívače vzduchu ALFA II. S ohledem na požadované vlastnosti byla vybrána korozivzdorná ocel 1.4301 (dle značení ČSN EN 10027-2). Cílem této práce byla analýza mechanických vlastností vybrané oceli za zvýšených teplot a případné doporučení jiného materiálu, který by odpovídal požadavkům.

2. Teoretická část

Teoretická část popisuje rozdělení zkoušek vlastností materiálů na nedestruktivní a destruktivní, u kterých se jedná zejména o mechanické zkoušky. Blíže popisuje statickou zkoušku tahem. Dále se zabývá mechanickými vlastnostmi a korozivzdornými oceli.

2.1. Nedestruktivní zkoušky - defektoskopie

V praxi nejde vyrobit dokonalý materiál nebo výrobek, což je způsobeno zákonitostí tvorby struktury, výrobní technologií, lidským faktorem a dalšími podmínkami. V materiálech a výrobcích se tak objevují vady. Pojem "vada" rozhoduje, zda bude materiál, či výrobek dále použit nebo vyřazen.[1], [3]

2.1.1. Pojem vada a rozdělení vad

Pojmu vada materiálu nebo výrobku rozumíme odchylku rozměrů, tvaru, hmotnosti, vzhledu a jiných vlastností od předepsaných technických norem či podmínek, případně vzorů.[3]

Vady se rozdělují do skupin podle vnějších znaků a v těchto skupinách se dělí na jednotlivé druhy podle typu výrobku. V technologických odvětvích popisují jednotlivé vady statní, evropské, světové nebo odborné normy.

Mezi vady materiálu a výrobku se obecně řadí *vady struktury, nesprávné chemické složení, špatné mechanické a fyzikální vlastnosti, dutiny (bubliny, póry, staženiny), přerušování souvislosti (trhliny, praskliny), vměstky, koroze, opotřebení, únava, pnutí v kovech, tvarové a rozměrové vady.*

Vady mohou vznikat nahodilým přetížením nebo degradačními procesy i při provozu výrobku. Vznikající vady mění charakteristiky materiálu a výrobku a jsou důvodem změny předvídaného mezního stavu. Díky těmto příčinám byla zavedena a stále se rozšiřuje soustava nedestruktivních (defektoskopických) zkoušek, specializovaných na vstupní, mezioperační, výstupní a průběžnou provozní kontrolu výrobku. Protože finální výrobky nelze zkoušet destruktivními zkouškami, mají nedestruktivní kontroly velký význam při zabezpečení spolehlivosti a bezporuchovosti strojů a zařízení. [1], [4]

2.1.2. Defektoskopické zkoušky povrchových vad

Metody, které zjišťují povrchové vady, se dělí na vizuální kontrolu, kapilární zkoušky a elektromagnetické zkoušky.

Vizuální kontrola

Vizuální prohlídka je nejjednodušší forma defektoskopických zkoušek, díky které se zjišťují povrchové vady např. trhliny, koroze, vnější staženiny a řediny a další.

Vizuální kontroly se dělí podle použitých pomůcek:

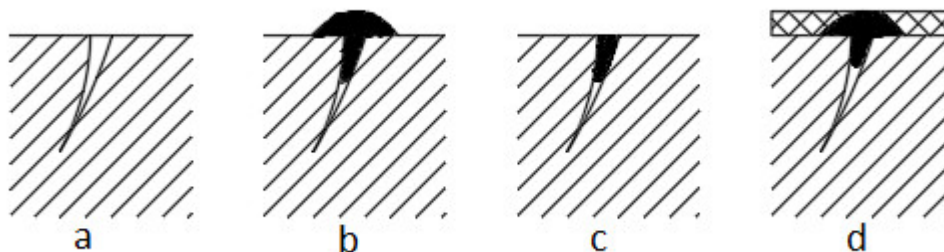
- *Přímá kontrola* – tato kontrola se dělá pouhým okem nebo lupou
- *Nepřímá kontrola* – při těchto kontrolách se zkoumá povrch pomocí dokonalejších optických přístrojů a zařízení (např. periskop, kamery). [3]

Kapilární zkoušky

Jemné povrchové trhliny a jiné necelistvosti se při těchto zkouškách zjišťují pomocí vhodných kapilárních kapalin, které vnikají do těchto vad. Po nanesení se přebytečná kapalina z povrchu zkoušeného výrobku odstraní a díky kapilárním silám stoupá a vytéká na povrch. Takto se necelistvost přesně identifikuje a ohraničí. Jako detekční kapaliny se využívají ty, které mají nízké povrchové napětí, a tedy dobře smáčejí povrch. [1], [4]

Máme několik metod kapilárních zkoušek, které rozlišujeme podle chemické aktivity použité kapaliny:

- *Detekční kapalina chemicky pasivní* – neporušují daný povrch
 - zkoušky s barevnou kapalinou
 - zkoušky s fluorescenční kapalinou
 - ostatní (petrolejem, olejem)
- *Detekční kapalina chemicky aktivní* – zkoušky leptající [3]



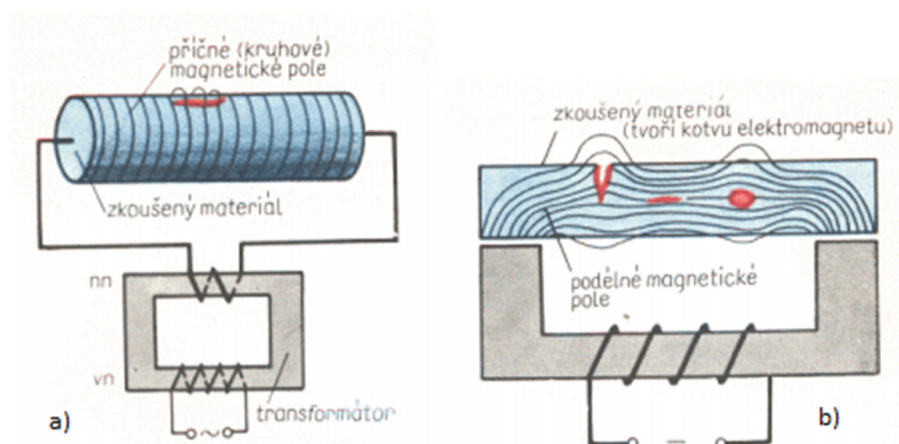
Obr. 2.1 Princip kapilární zkoušky: a – povrchová trhlina, b- detekční kapalina, nanesená na povrch, vnikající do trhliny, c – očištěný povrch, d – detekční kapalina je nasávána do vývojky [5]

Elektromagnetické zkoušky

Elektroinduktivní a magnetoinduktivní zkoušky se používají pro identifikaci povrchových vad nebo vad nacházejících se těsně pod povrchem. Tyto defektoskopické zkoušky se zejména využívají v hutních provozech a ve vstupních a výstupních kontrolách. Uvedené zkoušky se dělí podle fyzikálního principu na metody rozptylových toků a na metody vířivých proudů.

Metoda rozptylových toků se zakládá na rozptylu magnetického toku přerušením souvislosti prostředí, ve kterém je magnetické pole buzeno. Zkoušený materiál musí být feromagnetický, aby bylo možné vytvořit rozptylové toky podélnou nebo příčnou magnetizací. Indikaci vady způsobuje změna magnetického toku ve zmagetovaném materiálu tím, že se zvýší magnetický odpor, takže v místě vady dochází k zakřivení siločar. Některé z nich vystupují na povrch a vzniklý rozptylový tok vytvoří po okraji vady magnetické póly. Indikace vad se provádí pomocí feromagnetického prášku, detekční kapaliny, ve které je feromagnetický prášek rozptýlen, speciálních snímacích sond nebo magnetografických materiálů. [2], [4]

Metoda vířivých proudů je založena na stanovení změn fyzikálních vlastností výrobku pomocí střídavého magnetického pole. Když tělesem prochází střídavý magnetický tok, indukuje se v něm elektromagnetická síla a vznikají vířivé proudy. Tyto vířivé proudy svými magnetickými účinky působí zpětně na pole budící. Obě magnetická pole se vektorově skládají a výsledné pole se snímá sekundární cívkou a tento signál se obvykle porovnává s etanolem. Hustota a rozložení vířivých proudů ve zkoušeném tělese závisí na fyzikálních vlastnostech a geometrii magnetovaného tělesa. Tato metoda se kromě zjišťování vad využívá také na nedestruktivní posuzování změn a záměn struktury. Metoda se může využít pro feromagnetické i neferomagnetické materiály. [3], [4]



Obr. 2.2 Princip zjišťování podélných (a) a příčných vad (b) [6]

2.1.3. Defektoskopické zkoušky vnitřních vad

Na zjištění vnitřních vad se používají ultrazvukové a radiologické (prozařovací) metody.

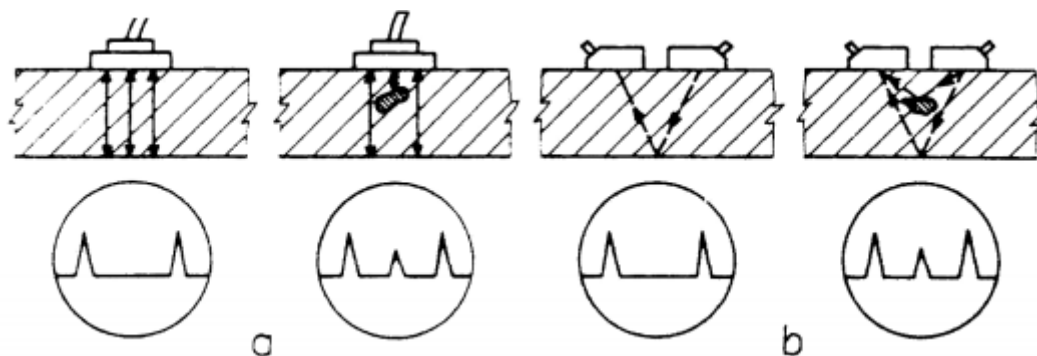
Ultrazvukové zkoušky

Ultrazvuk je vlnění, které se nachází nad prahem slyšitelnosti, tj. vyšší než 20 kHz. U ultrazvukových zkoušek se používá zejména příčných a podélných vln o frekvenci 1 až 10 MHz. Tyto zkoušky se využívají kromě identifikace vnitřních vad také k měření tloušťek stěn, zbytkových napětí a elastických modulů. Ve zkoumaném materiálu jde zjistit jen vady, jejichž příčné rozměry kolmé na směr šíření ultrazvukové vlny jsou větší než poloviční délka vlny. [4]

Zdroje ultrazvuku jsou taková zařízení, která mění určitý druh energie na ultrazvukovou. Podle druhu měnicí energie rozlišujeme zdroje na mechanické (píšťaly, sirény) nebo elektromechanické (piezoelektrické, magnetostrikční). Při defektoskopii mají v dnešní době největší význam piezoelektrické zdroje. [3]

Průchodová metoda spočívá v tom, že jsou na každé straně materiálu souose umístěny sondy. Je-li v materiálu vada, ultrazvukové vlny se od její stěny odrážejí a za ní vzniká ultrazvukový stín. Na přijímací sondě tak dojde k poklesu zachycené energie. [3]

Odrážová metoda je založena na impulsním provozu ultrazvukového zdroje. Do zkoušeného materiálu se vysílají krátké ultrazvukové impulsy, které se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Po odrazu se vrátí zpět do vysílací sondy nebo na druhou sondu (jednosondový nebo dvousondový provoz), která pracuje jako přijímač. Na obrazovce zobrazí počáteční echo. Když se objeví vada, znázorní se poruchové echo, jehož vzdálenost od počátečního echa odpovídá hloubce výskytu vady, viz obr. 2.3. Koncový impulz je záznam odrazu od protilehlé stěny materiálu. [3]



Obr. 2.3 Princip odrazové metody – a) s jednou sondou; b) s dvěma sondami [5]

Prozařovací zkoušky

Významná metoda kontrolování výrobků nebo materiálů, zejména ve slévárenství, svařování a v oborech výroby a zpracování plastů. Používá se rentgenové, gama a neutronové záření. Zdroje pronikavých záření bývají rentgeny, betatrony a radioizotopy. Radiologické metody dělíme podle druhu použitého zdroje a podle registrace obrazu zkoušeného výrobku. [3]

- **Metody radiografické** zahrnují zkoušky, registrující obraz zkoušeného materiálu na fotografický film.
- **Metody radioskopické** zahrnují zkoušky, které znázorňují obraz zkoušeného materiálu na fluorescenčním stínítku.
- **Metody ionizační**, které spočívají v registraci plošné intenzity záření zkoušeným materiálem indikátorem záření, založeným na principu ionizace. [3]

2.2. Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky spočívají v tom, že se zkoušený materiál namáhá. Namáhání je proces, při kterém dochází k působení mezi silami, anebo činiteli namáhání a namáhaným objektem. Výsledkem tohoto procesu jsou pružné (elastické) nebo trvalé (plastické) deformace. Pomocí těchto zkoušek se v praxi zjišťují fyzikální, technologické a mechanické vlastnosti. [1]

2.2.1. Technologické vlastnosti a jejich zkoušení

Technologické vlastnosti jsou soubor mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, díky kterým lze za určitých podmínek definovat způsob jejich zpracování na polotovary nebo hotové výrobky. Mezi nejdůležitější technologické vlastnosti materiálu patří *slévatelnost*, *svařitelnost*, *tvářitelnost* a *obrobitelnost*.

Technologickými zkouškami se nezjišťují vlastnosti vyjádřené fyzikálními veličinami. Zkoušky se provádí tak, že se napodobuje výrobní proces a určuje se, za jakých podmínek by byl technologický postup úspěšný.[7]

Zkoušky slévatelnosti

Kvalita odlitku nezávisí jen na slévatelnosti použitého materiálu ale také na vlastnostech formovacího materiálu. Slévatelnost je schopnost kovu tvořit jakostní odlitek a především závisí na zabíhavosti a smrštění materiálu.

Zabíhavost je schopnost materiálu dokonale vyplňovat formu. Zkoušky zabíhavosti spočívají ve vyhodnocování odlitků určitých tvarů za konstantních podmínek lití. Zkušební odlitky mohou mít stálý nebo proměnný průřez.[7]

Smrštění je charakterizováno zmenšením objemu a rozměrů ztuhlého odlitku. Důsledkem smrštění při tuhnutí je vznik staženin, tvarové zborcení, trhliny a vnitřní napětí.[7]

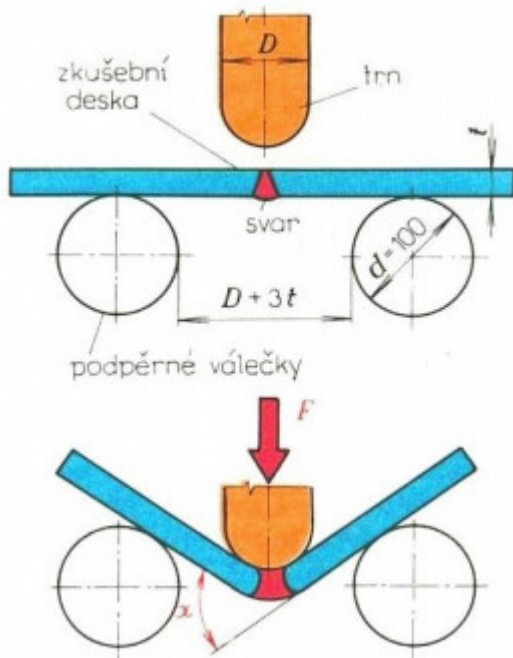
Zkoušky svařitelnosti

Svařitelnost je schopnost vytvořit nerozebratelný celek (kvalitní svarový spoj) některým způsobem svařování. Špatná svařitelnost se projeví nízkou pevností svaru nebo zkřehnutím materiálu okolo svaru. Zkoušky svařitelnosti se dělí na zkoušky zkřehnutí a zkoušky odolnosti svarových spojů proti vzniku trhlin, nebo se může vytvořený svar zkoušet různými mechanickými zkouškami.[8]

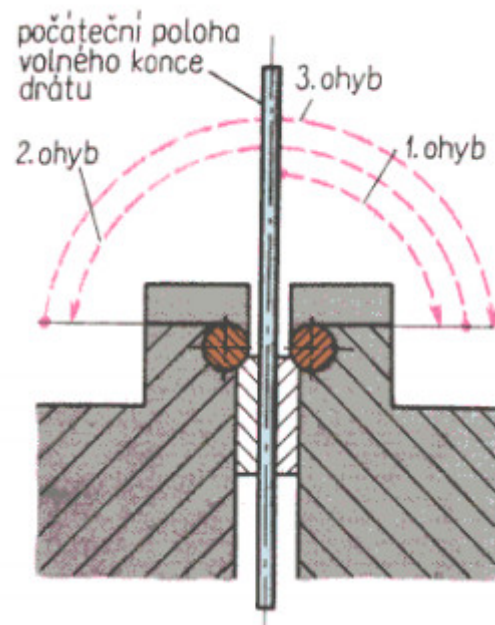
Zkoušky tvářitelnosti

Tvářitelnost je vlastnost materiálu, která vyjadřuje schopnost materiálu vytvořit jakostní výrobek plastickou deformací za tepla nebo za studena.[7]

Mezi zkoušky tvářitelnosti patří například zkoušky střídavým ohybem, lámavosti (viz obr. 2.4), hloubením, kroucením a mnoho dalších. U zkoušek lámavosti se sleduje vznik trhlin při ohybu zkušební tyče o určitý úhel. Zkoušky drátů, plechů a pásů střídavým ohybem stanovuje odolnost drátů (plechů, pásů) proti střídavému ohýbání a výsledek těchto zkoušek je počet ohybů do lomu, viz obr. 2.5. Plechy a pásy se také zkoušejí hloubením podle Erichsena, které určují hlubokotažnost tak, že do vzorku plechu se pomalu vtlačuje trn, dokud se na plechu neobjeví první trhliny. Zkoušky trubek rozšiřováním, lemováním a tlačáním zjišťují zpracovatelnost trubek. [8]



Obr. 2.4 – Zkouška lámavosti svaru [9]



Obr. 2.5 – Zkouška drátu ohybem[6]

Zkoušky obrobiteľnosti

Obrobiteľnosť je schopnosť materiálu vyjadřujúci jeho vhodnosť k danému spôsobu obrábění. Podľa spôsobu a rozsahu hodnotení sa rozlišuje absolútnu, relatívnu a komplexnú vyjadřění obrobiteľnosti. [7]

V technickej praxi sa trísková obrobiteľnosť stanovuje stupňom obrobiteľnosti, ktorý sa určuje poměrom řezné rychlosti při obrábění zkušebního materiálu a hodnoty řezné rychlosti při obrábění etanolového materiálu. Stupeň obrobiteľnosti je relativní hodnota vyjadřena poměrným číslem, které určuje, o kolik je daný materiál lépe, resp. hůře obrobiteľný než etanolový materiál. [8]

2.2.2. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti představují základní charakteristiky materiálu při mechanickém namáhání, to znamená, že jeho odolnost proti deformaci a porušení lze považovat za *základní mechanické vlastnosti*. Mezi tyto vlastnosti se řadí *pružnost, pevnost, plasticita a houževnatost*. [1]

Pružnost (elasticita) je definovaná jako schopnost materiálu se před porušením pružně deformovat. Většinou se tato vlastnost udává modulem pružnosti, mezí pružnosti a energií elastické napjatosti.[1]

Pevnost je odpor, resp. odolnost materiálu proti trvalému porušení. Číselně je pevnost dána napětím, při kterém je potřeba materiál rozdělit na dvě nebo více částí. Pevnost se rozděluje podle způsobu namáhání na pevnost v *tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu*. Nejčastěji se ve výzkumu a vývoji materiálu používá pevnost v tahu. Dále se rozlišuje na *konvenční, skutečnou a ideální* pevnost podle fyzikální povahy veličin. [1]

Plasticita je vlastnost materiálu měnit v tuhém stavu trvale svůj tvar působením vnějších sil a to bez porušení, neboli se před porušením plasticky deformovat. Plasticita se udává v poměrné deformaci před porušením. [1]

Houževnatost vznikla kombinací pevnosti a plasticity. Představuje mechanickou energii, která je potřebná na plastickou deformaci materiálu. Všechny plastické deformace nebo porušení, kterému předchází trvalá deformace, vyžaduje určitou mechanickou práci. Měřítkem houževnatosti je tato práce. [1]

2.2.3. Mechanické zkoušky

Mechanické zkoušky jsou základem každého vývoje nebo výzkumu a v praxi jsou součástí výrobního postupu a také kontroly jakosti výrobků a polotovarů. Většina mechanických zkoušek je normalizována a jdou rozdělit:

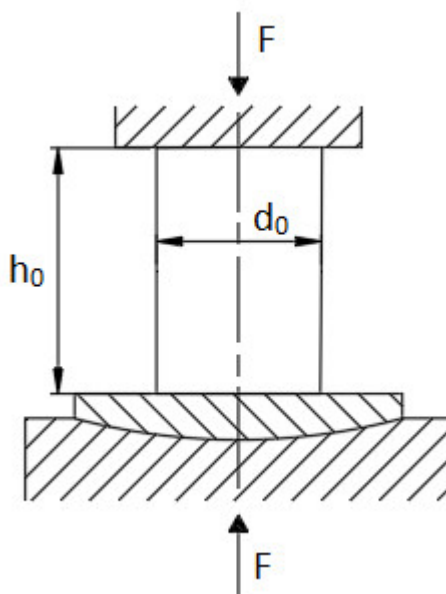
- podle způsobu zatěžování – na zkoušky tahem, tlakem, ohybem, krutem a stříhem
- podle stavu napjatosti – na zkoušky jednoosé, dvouosé, trojosé napjatosti
- podle časového průběhu zátěžné síly – na zkoušky statické a dynamické
- podle fyzikálních podmínek – na zkoušky při různých teplotách a v různých prostředích [11]

2.2.3.1. Mechanické zkoušky statické

U statických zkoušek se pozoruje chování materiálu při působení stálých nebo plynule rostoucích sil. Zkoušené těleso se většinou zatěžuje pouze jednou, až do porušení. Do této kategorie patří zkoušky tahem (samostatná kapitola), tlakem, ohybem, stříhem a krutem. [5]

Zkouška tlakem

Pevnost v tlaku se zkouší především u křehkých materiálů, ze kterých se vyrábí součásti, a dále pak u konstrukcí namáhaných v provozu na tlak (šedá litina, stavební materiály, kompozice apod.). Zkušební těleso bývá z pravidla váleček o výšce h_0 a průměru d_0 , viz obr. 2.7. Zkušební těleso je chyceno mezi dvě podložky a jedna z nich je uložena v kulovém sedle, což zajišťuje zatížení v ose válečku. Při zkoušce se zaznamenává tlaková síla v závislosti na velikosti stlačení výšky válečku. [3]



Obr. 2.6 – Způsob zatěžování válečku při zkoušce tlakem [5]

Základní veličina **pevnost v tlaku** je dána vztahem:

$$R_{md} = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (2.1)$$

kde značí: R_{md} - pevnost v tlaku [MPa],
 F_{max} - maximální síla dosažená při zkoušce [N],
 S_0 - původní průřez zkušební tělesa [mm²]. [3]

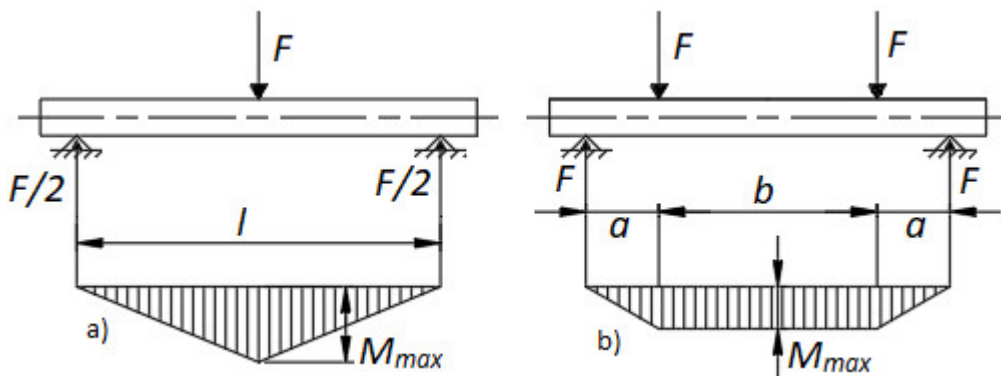
Zkouška ohybem

Ohyb je kombinace tahového a tlakového namáhání. Cílem těchto zkoušek je získat **pevnost v ohybu**, která je definovaná největším ohybovým momentem ve zkušební tyči při porušení:

$$R_{mo} = \frac{M_{Omax}}{W_0} [MPa] \quad (2.2)$$

kde značí: R_{mo} - pevnost v ohybu [MPa],
 W_0 - modul průřezu [mm³],
 M_{Omax} - maximální ohybový moment [N.m]. [8]

Při zkoušce se neopracovaná zkušební tyč s kruhovým nebo obdélníkovým průřezem položí na dvě podpory. Zkušební stroj pracuje na základě tlakového zatěžování. Horní část přípravku pro zkoušení tvoří jeden trn, který působí silou uprostřed tyče (zkoušení tříbodovým ohybem), nebo dva trny umístěné symetricky vzhledem ke středu tyče (zkouška čtyřbodovým ohybem), znázorněno na obrázku 2.7. [3]



Obr 2.7 – Způsoby zkoušek v ohybu – a) tříbodový ohyb; b) čtyřbodový ohyb [5]

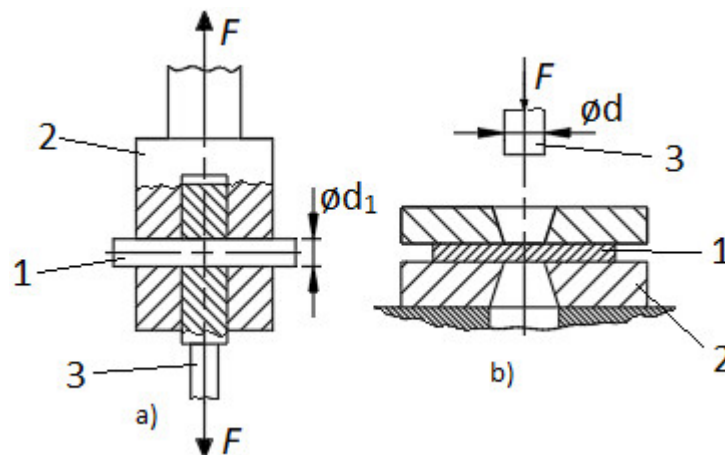
Zkouška stříhem

V praxi bývá většina strojních součástí vystavena současnému působení smykového a normálového napětí. U namáhání šroubů, nýtů, spojovacích klínů apod. převládají napětí smyková. Na zjištění odolnosti materiálu na takové zatížení se používá zkouška stříhem s uspořádáním na tzv. dvojí stříh, u kterého je zkoušená tyč, která prochází otvorem nože a oboustrannou čelistí a namáhá se až do porušení (obr. 2.8 a)). V případě namáhání dvojitým stříhem pro **pevnost ve stříhu** platí:

$$R_{ms} = \frac{F_{\max}}{2S_0} \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

kde značí: R_{ms} - pevnost ve stříhu [MPa],

Zkouška stříhem nepatří mezi běžné zkoušky, proto se většinou při posuzování pevnosti ve stříhu R_{ms} vychází z jejího empirického vztahu k pevnosti v tahu R_m : $R_{ms} = (0,8 - 1,0)R_m$ [8]



Obr. 2.8 – Zkoušku stříhem: a) pro tyče kruhového průřezu 1 – zkušební tyč, 2 – vidlice, 3 – táhlo
b) pro plechy 1 – zkušební plech, 2 – střížnice, 3 – střížník[5]

Zkouška krutem

Zkouškou krutem se zjišťuje a hledá nejvhodnější materiál pro hřídele, torzní tyče a ocele na pružiny. Tyč se namáhá tak, že na jednom konci je vetknutá a na druhém je zatížena dvojicí sil. V průřezu tyče při tomto namáhání vznikají smyková napětí. Na ose tyče je smykové napětí nulové a největší napětí bude v okrajových vláknech tyče kruhového průřezu. Toto napětí potom slouží k výpočtu **pevnosti v krutu**: [12]

$$R_{mk} = \frac{M_{kmax}}{W_k} [MPa] \quad (2.5)$$

kde značí:

R_{mk}	-	pevnost v krutu [MPa],
M_{kmax}	-	maximální krouticí moment [N.m],
W_k	-	průřezový modul odporu v krutu [mm ³].

2.2.3.2. Mechanické zkoušky dynamické

Dynamické zkoušky jsou takové, kdy se zatížení rychle mění nebo na těleso působí deformace s velkou rychlostí. Podle toho se dělí na zkoušky rázové a zkoušky únavy. [11]

Rázová zkouška ohybem

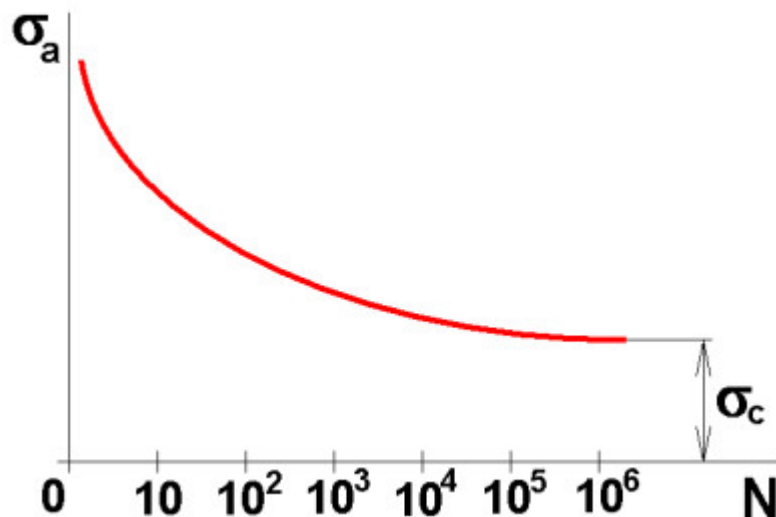
Zkouška rázem v ohybu je základní zkouškou hodnocení vrubové houževnatosti materiálu. Ke zkoušení se používá kyvadlové kladivo a zjišťuje se práce, spotřebovaná k přelomení zkušební tělesa při daných podmínkách. Zkouška rázem v ohybu spočívá v přerušení zkušební tyče jedním nárazem kyvadlového kladiva a maximální energií nárazu. Kladivo je obvykle typu Charpy nebo Amaler. Zkušební tyče mají uprostřed vrub tvaru V nebo U a vrub je umístěn na odvrácené straně úderu kladiva. Tvary a rozměry zkušebních těles jsou dány příslušnou normou.[2]

Podle upnutí zkušebního tělesa se rozlišují zkoušky:

- **Charpyho zkouška**, která spočívá v tom, že těleso položí na dvě podpory a úderem kladiva v rovině, která leží v ose vrubu, se přerazí.
- **Izodova zkouška**, která má zkušební tyč uchycenou letmo. [1]

Zkoušky únavy

Při opakovaném zatěžování, klidně i menší silou, dochází k únavě materiálu. Díky tomu může dojít k porušení materiálu tzv. **únavový lom**. Při těchto zkouškách se zkoušené tyče namáhají cyklicky, např. tah, tlak nebo ohyb při rotaci. Zkušební tyč se upevní do stroje, ve kterém se zatěžují různými amplitudami napětí, přičemž se zjišťuje počet cyklů, po kterých se zkoušená tyč poruší. Zjištěný počet cyklů do lomu v závislosti na napětí tvoří **Wöhlerovu křivku** (obr. 2.9). Existují dva základní druhy reakcí materiálů při cyklickém namáhání. [8]



Obr. 2.9 – Wöhlerova křivka [10]

První skupina popisuje materiály, které odpovídají na Wöhlerově křivce počtem cyklů větším než 10^6 - 10^7 . Při tomto počtu cyklů dochází k únavovému lomu při napětí σ_c , které se označuje jako **mez únavy**. Mez únavy je největší napětí, při kterém materiál vydrží teoreticky neomezený počet cyklů. [11]

Pro druhou skupinu materiálu je charakteristické, že křivka plynule klesá s počtem cyklů, takže k porušení dochází v daném konečném počtu cyklů pro všechny hodnoty napětí. Klesající část křivky umožňuje definovat **časovou mez únavy**. Časová mez únavy σ_n je napětí, které materiál vydrží po určitý počet cyklů. [8]

2.3. Statická zkouška tahem

Zkouška tahem je nejpoužívanější destruktivní zkouška pro zjišťování mechanických vlastností různých materiálů. U této zkoušky se zkušební těleso, jehož tvar a rozměry jsou dány normou ČSN EN ISO 6892-1, namáhá tahem za plynule rostoucí síly až do přetržení. Zkouška se provádí na trhacích strojích s čelistmi, do kterých je uchycena zkušební tyč tak, aby osa tyče byla přesně v ose čelistí stroje. Výsledkem je určit napěťové a deformační vlastnosti, kterými jsou pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost a kontrakce. Pomocí speciálních metod lze určit také modul pružnosti, mez úměrnosti a smluvní mez pružnosti. Uvedené vlastnosti se dají určit z diagramu tahové zkoušky, který má mnoho podob. [2] [13]

Pracovní diagram je diagram, který při zkoušce zaznamenává závislost deformace zkušební tyče na zatížení, tj. $\Delta L = f(F)$.

Smluvní diagram (obr. 2.10) vykresluje závislost smluvního napětí R [MPa] na poměrné deformaci (prodloužení) ε [-].

$$R = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]}, \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \text{ [-]}, \quad (2.7)$$

kde značí:	R	-	smluvní napětí [MPa]
	F	-	zatěžovací síla [N]
	ε	-	poměrné prodloužení [-]
	ΔL	-	celkové prodloužení [mm]
	L_u	-	délka vzorku po zkoušce [mm]
	L_0	-	původní délka vzorku [mm]



Obr. 2.10 – Smluvní diagram napětí – deformace [3]

Začátek diagramu je přímkový, přísluší pružné deformaci a znázorňuje úměru napětí a deformace podle Hookeova zákona:

$$R = E \cdot \varepsilon \text{ [MPa]} \quad (2.8)$$

kde značí: E - modul pružnosti v tahu [MPa]

V následující části diagramu se křivka odchyluje od přímkové závislosti, díky vzniku plastických deformací. Přírůstek napětí v závislosti na deformaci postupně klesá až na nulovou hodnotu. Po dosažení této hodnoty klesá napětí a na zkušební tyči vzniká krček. Na základě této závislosti se vyhodnocují dvě napěťové vlastnosti, *mez pevnosti a mez kluzu*. [2] [3]

Mez pevnosti R_m se ve smluvním diagramu nachází, když je zatěžující síla na nejvyšší hodnotě před přetržením zkoušeného tělesa. A je dána vztahem:

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (2.9)$$

kde značí: R_m - mez pevnosti v tahu [MPa]

Mez kluzu R_e je napětí, při kterém se začne vyskytovat první plastická deformace ve zkušební tyči. U některých materiálů bývá tato přeměna pružných k plastickým deformacím patrná a označuje se jako *výrazná mez kluzu*. Ale většina materiálů tento přechod nemá tak výrazný, přechod je plynulý a podle obr. 2.10 k ní dochází při odklonu diagramu od přímky. Proto se zavádí **smluvní mez kluzu** $R_{p0,2}$, což je napětí, které zapříčiní trvalou deformaci o velikosti $\varepsilon = 0,002$ (0,2%). Tato velikost plastické deformace je smluvní hodnota v naší normě pro zkoušku tahem, ale některé další normy používají jinou smluvní hodnotu. [3] [11]

Kromě těchto napěťových charakteristik se určují i dvě charakteristiky podle rozměrů zkušební tyče před a po zkoušce. Jedná se o deformační charakteristiky tažnost a kontrakce.

Tažnost A [%] je charakteristikou plasticity v tahu a je definována jako trvalé poměrné prodloužení měřené délky po přetrhnutí tyče, vyjádřené procenty. Je dána vztahem:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2.10)$$

kde značí: A - tažnost [%]

Původní délka je většinou u poměrných zkušebních tyčí vztažena k původnímu průřezu podle vztahu $L_0 = k \cdot \sqrt{S_0}$. Mezinárodně přijatá hodnota je $k = 5,65$. Když je k jiné, je nutné jeho hodnotu přidat k symbolu A (např. $A_{11,3}$). U nepoměrných zkušebních tyčí je takto vyjádřená měřená délka (např. $A_{60\text{mm}}$). [3] [11]

Kontrakce Z [%] je podobně jako tažnost charakteristika plastických vlastností. Je to největší zúžení příčného průřezu zkušební tyče po přetržení, vyjádřené v procentech.

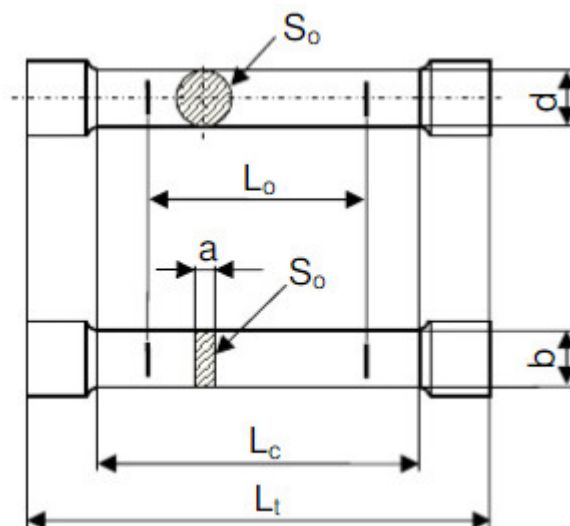
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2.11)$$

kde značí: Z - kontrakce [%]
 S_u - minimální průřez po lomu [mm^2]

2.3.1. Zkušební těleso

Tvar zkušební tyče pro zkoušku tahem se volí s ohledem na vlastnosti materiálu, způsob upnutí a účel měření. Zkušební těleso se většinou získá obráběním vzorku z vylisku, výrobku nebo odlitku. Průřezy zkušebních tyčí mohou být kruhový (obr. 2.11), čtvercový, obdélníkový (obr. 2.11) a ve zvláštních případech i jiného tvaru.

Zkušební tyče kruhového průřezu se upínají do rychloupínacích samosvorných čelistí, závitových hlav (u tyčí, kde je třeba zkoušet bez prokluzů v upnutí) a pro materiály vyšších pevností se zkušební tělesa upínají do dělených kroužků čelistí. [2] [13]



Obr. 2.11 – Tvary a rozměry zkušebních těles [8]

2.3.2. Zkouška tahem za vyšších teplot

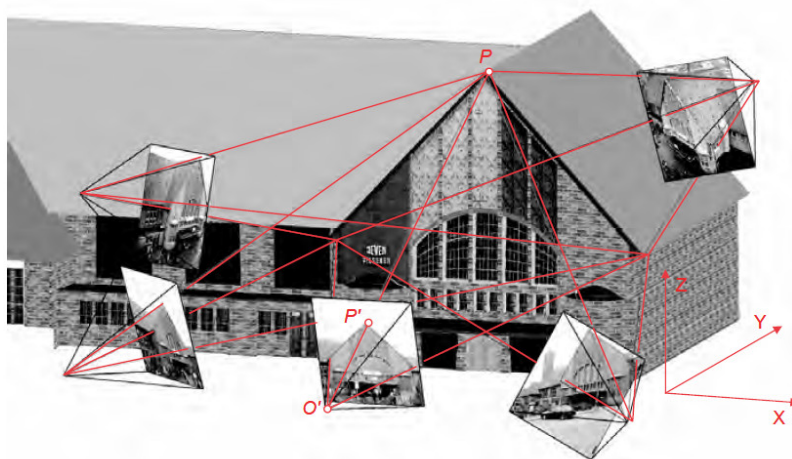
Mechanické vlastnosti kovů jsou na teplotě závislé. Pevnostní charakteristiky R_m a R_e , s rostoucí teplotou klesají, hodnoty A a Z , charakterizující plasticitu, se zvyšují. Způsob provedení zkoušek se prakticky nemění od zkoušek při normální hodnotě. Používají se stejné trhací stroje, doplněny o zařízení pro ohřev zkušebních těles, měření a udržení předepsané teploty během zkoušky. Zkoušku tahem za zvýšených hodnot popisuje norma ČSN EN ISO 6892-2 [2]

Ohřátá tyč se při zkoušení zatěžuje předepsanou rychlostí tahovou silou, většinou až do přetržení pro stanovení charakteristik mechanických vlastností. Zařízení pro ohřátí musí umožnit prohřátí materiálu rovnoměrně po celé zkoušené délce na požadovanou teplotu a udržet její hodnotu po celou dobu zkoušení. [2]

2.4. Fotogrammetrie

Fotogrammetrie zahrnuje způsoby měření a vyhodnocování snímků, aby odvodila tvar a umístění objektu z jedné nebo více fotografií tohoto objektu. Primární účel fotogrammetrického měření je trojrozměrná rekonstrukce objektu v digitální podobě (souřadnice a odvozené geometrické prvky) nebo grafické podobě (obrázky, výkresy, mapy). [14]

Fotogrammetrie je trojrozměrná měřicí technika, která využívá jako základní matematický model princip centrální projekce. Tvar a poloha objektu jsou učeny rekonstrukcí svazků paprsků. Pro každý obrazový bod P' spolu s odpovídajícím perspektivním středem O' , je definován prostorový směr paprsku k odpovídajícímu bodu P (obr. 2.12). Za předpokladu, že jsou známy zobrazovací geometrie uvnitř fotoaparátu a umístění zobrazovacího systému v prostoru, lze každý bod v prostoru definovat. Ve stereofotogrammetrii jsou k dosažení výsledku potřeba dva obrazy a ve více snímkové fotogrammetrii je počet snímků v zásadě neomezený. [14]



Obr. 2.12 – Princip centrální projekce [14]

2.4.1. Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrie se zabývá velkou škálou měření pořízených fotografií. Dělena je podle několika faktorů:

- Podle polohy kamery a vzdálenosti objektu (satelitní, letecká, pozemní, blízká, makro)
- Podle počtu měřených obrazů (jednosnímková, stereofotogrammetrie, vícesnímková)
- Podle způsobu záznamu a zpracování (analogová, analytická, digitální, video)
- Podle dostupnosti výsledků (real-time, off-line, on-line) [14]

2.4.2. Aplikace fotogrammetrie

- Automobilový, strojní, letecký a lodní průmysl
 - Optické měřicí systémy, kontrola výroby, analýzy crash testů
- Stavebnictví, archeologie
 - Měření fasád, měření a dokumentace budov, mapování vykopávek, modely 3D měst, měření tunelů a potrubí
- Lékařství a fyziologie
 - Plastická chirurgie, stomatologie, analýza pohybu a ergonomie
- Forezní vědy a policejní práce
 - Záznamy nehod, měření osob, analýza místa činu
- Přírodní vědy
 - Měření průtoku kapalin, růst krystalů, topografie vln [14]

Jak je vidět fotogrammetrie má velké využití ve vědě i průmyslu. Její principy se dostaly i do strojírenství, kde se optické metody používají ke zrychlení, zkvalitnění a zlevnění výroby. Optické systémy se používají k měření deformací nebo např. k převodu objektů ze snímku do 3D modelu. Vzhledem k velkému nárůstu požadavků na vývoj a zlevnění výrobního procesu získávají tyto metody na důležitosti.

Pro měření deformace a deformace při zvýšených teplotách je potřebná velmi přesná metoda měření. Tyto požadavky splňují bezkontaktní metody, např. digitální korelace obrazu (DIC), která závisí především na kvalitě skvrn na povrchu vzorku. Tato metoda je schopna analyzovat deformaci tím, že přesně sleduje skvrny na povrchu vzorku. Daná metoda je také snadno realizovatelná a teoreticky nemá žádné omezení při extrémně vysokých teplotách, pokud jsou kvalita a kontrast skvrn dostatečné. [15]

2.5. Korozivzdorné oceli

Koroze kovových materiálů je definována jako souhrn heterogenních chemických a elektrochemických reakcí mezi povrchem materiálu a okolním prostředím. Schopnost materiálu odolávat korozi je velmi důležitá vlastnost, hlavně u těch, které se nachází v chemicky aktivním prostředí. Při zvýšené teplotě se korozní děje většinou urychlují. Oceli poměrně lehce podléhají korozi atmosférické, korodují ve vodě i v jiných prostředích. [8] [16]

Korozivzdorné oceli mají zvýšenou odolnost proti koroznímu napadení. Tyto oceli jsou vysokolegované a hlavní přísadou je u nich chrom. Díky chromu se usnadňuje tvorba tenké ochranné oxidické vrstvy s vyšším podílem oxidu chromitého (Cr_2O_3) na povrchu oceli a čím více chromu ocel obsahuje, tím výraznější ochranné vlastnosti má. Tento jev se nazývá pasivita. Aby se pomocí pasivace vytvořila ochranná vrstva po celém povrchu, je potřeba, aby obsah chromu v tuhém roztoku byl vyšší než 12%. Další přísady zvyšují korozní odolnost v některých prostředích (Mo, Cu), potlačují náchylnost k mezikrystalové korozi (Ti, Nb), nebo mohou zvyšovat mechanické vlastnosti. Podle chemického složení se korozivzdorné oceli dělí na chromové a chromniklové. [16] [17] [18]

Chromové oceli jsou slitiny, ve kterých jejich vlastnosti ovlivňuje chrom a uhlík. Podle poměru těchto prvků se tyto oceli rozdělují do tří skupin:

- *Martenzitické oceli* – obsahují 12-18% chromu a do 1% uhlíku
- *Feritické oceli* – velké množství chromu (až 30%) a nízký obsah uhlíku (do 0,1%) plus další přísady
- *Poloferitické oceli* – mají 7-18% chromu a 0,1-0,4% uhlíku

Většina korozivzdorných chromových ocelí se řadí do skupiny kalitelných ocelí. Chceme-li kalením docílit vysoké tvrdosti, použije se ocel s vyšším obsahem uhlíku, která ale musí mít pro zachování korozní ochrany úměrně zvýšen obsah chromu. [16] [18]

Struktura **chromniklové oceli** je výsledkem kombinace feritotvorného účinku chromu a austenitotvorného vlivu niklu a uhlíku. Korozivzdorné oceli mohou mít austeniticko-feritickou nebo austenitickou strukturu. Oproti chromovým ocelím mají lepší korozní odolnost a vyšší houževnatost i plasticitu. [16]

Chromniklové austenitické oceli jsou nejvýznamnější skupinou korozivzdorných ocelí. Obvykle mají 18-20% chromu a 8-11% niklu. Základní typ těchto ocelí je ocel Cr-Ni 18/8. Jako jediné z korozivzdorných ocelí jsou nemagnetické. V dnešní době se část drahého a deficitního niklu nahrazuje dusíkem (do 0,3%). Korozní odolnost lze zlepšit tak, že se přidá molybden nebo snižováním obsahu uhlíku. Když je obsah uhlíku vyšší, je zapotřebí austenitické Cr-Ni oceli homogenizačně žíhat při vysokých teplotách (cca 1100°C) a následně z této teploty prudce ochladit ve vodě. Rychlé ochlazení zabrání vyloučení karbidů chromu, které jsou pro korozní odolnost nežádoucí. Austenitické oceli mají vysokou houževnatost s tažností až do 40%. Nevýhodou je nízká mez kluzu okolo 200 až 300 MPa při pevnosti 550 až 650 MPa. Tyto oceli se používají v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu. [17] [18] [19]

Chromniklové austeniticko-feritické oceli obsahují 20-26% chromu a 4-7% niklu. Obsah uhlíku je velmi nízký. V porovnání s austenitickými oceli mají vyšší hodnotu meze kluzu a lepší obrobiteľnosť. Používají se v energetice nebo v chemickém průmyslu. [17]

Tab. 1 – Typické korozivzdorné oceli [18]

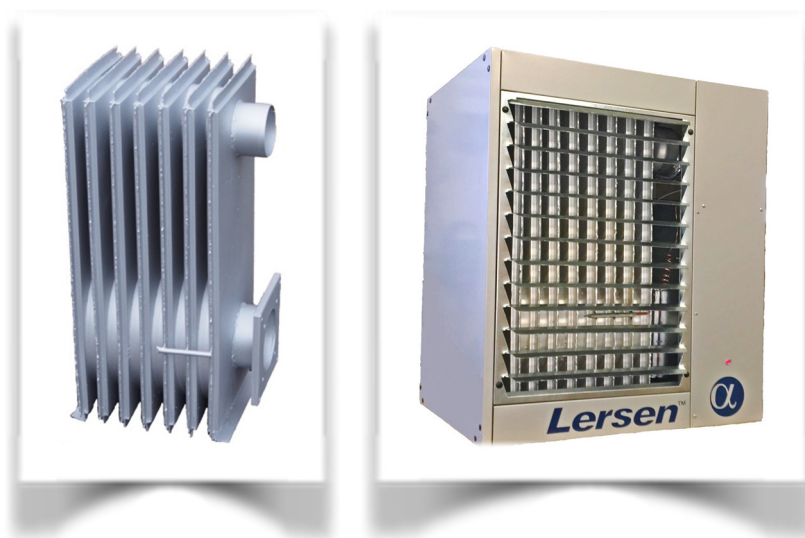
DIN	ČSN	Označení	Použití	Pozn.
1.4000	17 020	X 6 Cr13	příbory, kování	Nesvařitelná
1.4301	17 240	X 10 CrNi 18 8	potravinářský průmysl	Vyšší obsah C
1.4306	17 249	X 2 CrNi 18 9	potravinářství, chemie	Kvalita ELC
1.4435	17 350	X 2 CrNiMo 18 12	aparáty, zásobníky	Mo zvyšuje chem. odolnost
1.4573	17 347	X 10 CrNiMoTi 1812	aparáty, zásobníky	Stabilizace Ti

3. Experimentální část

Experimentální část předkládané bakalářské práce se zabývá změnou mechanických vlastností materiálu 1.4301 (označení dle ČSN EN 10027-2), který je uvažován jako jedna z možností pro výrobu teplosměnné lamely ohřívače vzduchu ALFA II (obr 3.1) vyráběné ve firmě Lersen, s.r.o.. Dle specifikace požadavků firmy Lersen, s.r.o. byl tento materiál vytipován především na základě těchto kritérií:

- Dostatečná deformační schopnost materiálu
- Svařitelnost materiálu metodou TIG
- Dlouhodobá teplotní odolnost materiálu do teplot 600°C
- Cenová dostupnost materiálu

Zvolený materiál 1.4301 nemá sice dlouhodobou teplotní odolnost 600°C, ale předešlé analýzy teplotního rozložení na povrchu teplosměnné lamely prokázaly lokální maxima na povrchu cca 400°C. Díky těmto analýzám lze předpokládat, že zvolený materiál provozně technickým požadavkům na ohřívač vzduchu ALFA II vyhoví.



Obr. 3.1 – Prototyp nového ohřívače vzduchu ALFA II

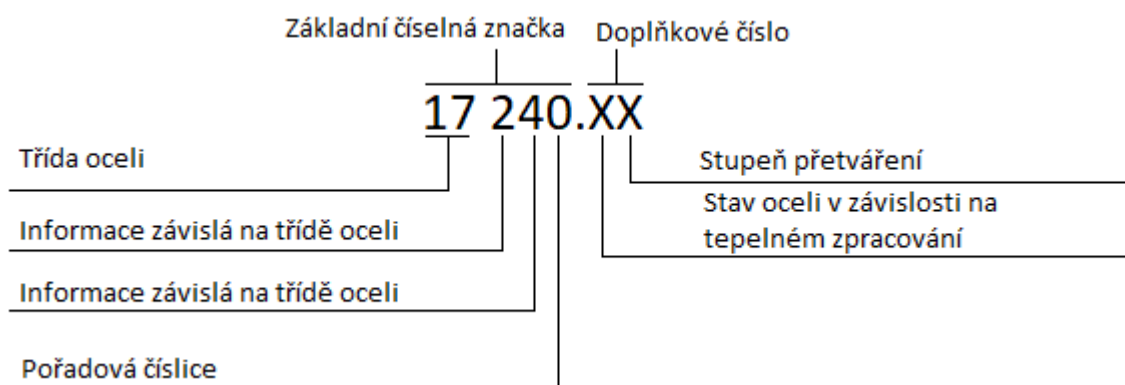
Cílem této části bakalářské práce je zjistit pomocí statické zkoušky tahem změny mechanických vlastností materiálu 1.4301 v rozsahu teplot RT až 600°C.

3.1. Specifikace zkoušeného materiálu

Standartní chromniklová austenitická nerezová ocel (viz kap. 2.4) odolná proti korozi v běžném prostředí. Má velmi dobrou svařitelnost, ale při aplikaci v silně korozním prostředí je potřeba celou svařovanou oblast přežíhat, protože je zde náchylná na mezikrystalickou korozi. Dlouhodobá teplotní odolnost této oceli je 450°C, je dobře tvářitelná a obrobitelná. Nejvíce se používá v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Dále se používá pro výrobu různého vybavení pro pivovarský, gastronomický a chladírenský průmysl.

System označení ocele podle ČSN EN 10020

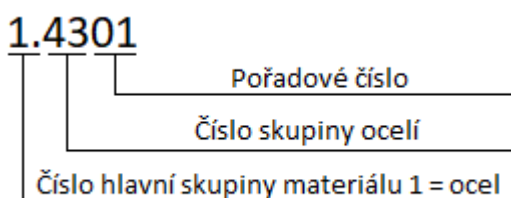
Oceli ke tváření se značí číselně a toto označení se skládá ze základní číselné značky a doplňkového čísla odděleného tečkou (obr. 3.2).



Obr. 3.2 – Značení ocelí podle ČSN EN 10020 [20]

- **Základní číselná značka** je pětimístné číslo, označující základní materiál.
- **První číslice** v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel.
- **Druhá číslice** ve spojení s první označuje třídu oceli, zde konstrukční, legovaná.
- **Třetí číslice** popisuje způsob legování ocelí jednotlivými prvky, zde Cr-Ni.
- **Čtvrtá číslice** popisuje obsah hlavních legovacích prvků Cr, Mn, Ni v jednotlivých druzích ocelí podle typu legování [20]

System označení ocele podle ČSN EN 10027-2



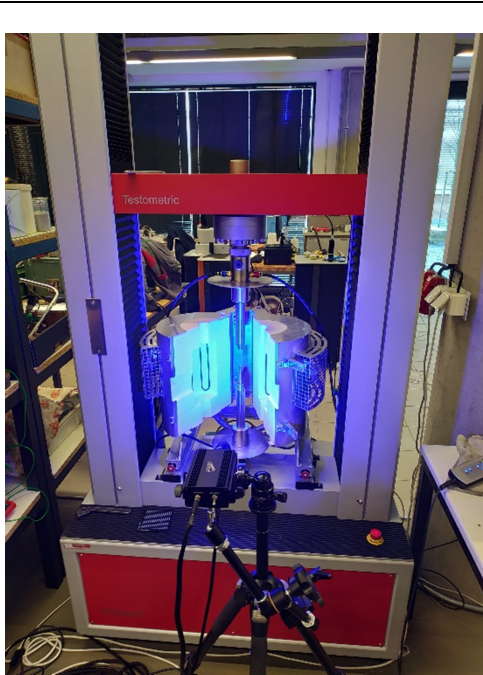
Obr. 3.3 – Značení ocelí podle ČSN EN 10027-2 [20]

- **První číslice** udává hlavní skupinu materiálu
- **Druhá a třetí číslice** udává skupinu ocelí, tady korozivzdorné oceli s $\geq 2,5\%$ Ni bez Mo, Nb a Ti [20]

3.2. Statická zkouška tahem

Změny mechanických vlastností při zvýšené teplotě se zjišťovaly pomocí statické zkoušky tahem na trhacím stroji Testometric FS100 CT (viz obr. 3.4): Zkušební zařízení je vybaveno teplotní komorou pro zajištění požadované teploty testovaného materiálu. Výchozím materiálem pro testování byla zvolena tyč kruhového průřezu o průměru 10 mm, z které byly nařezány vzorky pro testy. Následně byly pomocí soustružení zarovnány obě čela vzorků a vytvořeny závity M10 v délce 12mm. Velikost závitu M10 na vzorcích byla zvolena s ohledem na možnosti upínání ve zkušebním stroji Testometric FS100CT. Upínací čelisti pro testované vzorky jsou vyrobeny z wolframové slitiny a umožňují tak provádění testování až do teploty 1400°C. Po zhotovení závitů byly vzorky následně obrobeny na průměr 6 mm. Tvar a rozměry zhotovených zkušebních vzorků odpovídá normě pro statickou zkoušku tahem ČSN EN ISO 6892-1 (viz obr. 3.5). Pro potřebu stanovení změny mechanických vlastností testovaného materiálu 1.4301 v rozsahu RT až 600°C (požadavek firmy Lersen, s.r.o.) tak bylo třeba vyrobit celkem 35 ks zkušebních těles. Teploty, při kterých se uskutečnilo měření změny mechanických vlastností, byly zvoleny následovně RT, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C a 600°C.

Častým problémem měření v teplotní komoře je snímání velikosti deformace vzorku v průběhu testu. V rámci měření předkládané BP byl pro analýzu deformace použit bezkontaktní optický systém Monet 3D od firmy Sobriety, s.r.o. s vyhodnocovacím software MercuryRT. Systém využívá fotogrammetrické metody a pracuje na principu digitální korelace obrazu (DIC). Před vlastním měřením bylo proto nutné pro potřeby měření nanést na povrch vzorku tzv. pattern. Primárním účelem patternu je provedení korelace snímaného obrazu, sekundárním účelem je potlačení odlesku a přesvícení obrazu měřeného objektu. Pattern je ve většině případů kontrastní nástřik dvou barev (nejčastěji kombinace černé a bílé barvy) na povrchu vzorku. Pattern musí odolávat teplotám používaných při měření. Příklad postupu při přípravě vzorků pro statickou zkoušku tahem je patrný z obrázku obr. 3.5, kde je vidět obrobený vzorek se závity, následně vzorek nastříkaný černou matnou barvou odolávající teplotám do 800°C a vzorek připravený pro měření s patternem.



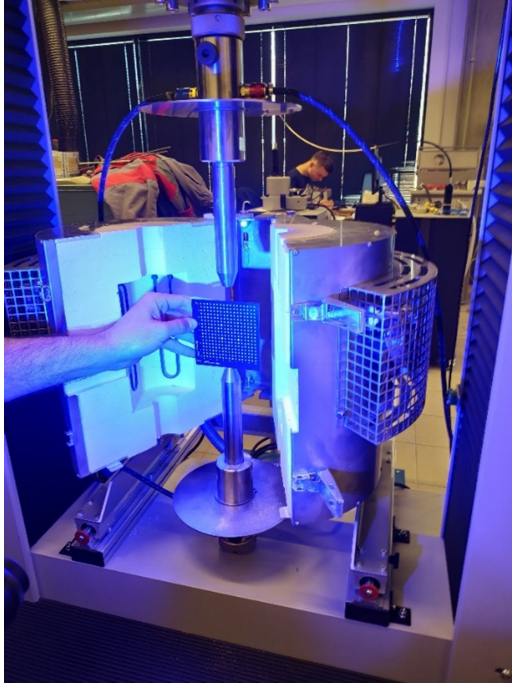
Obr. 3.4 – Trhací stroj Testometric FS100 CT
s teplotní komorou



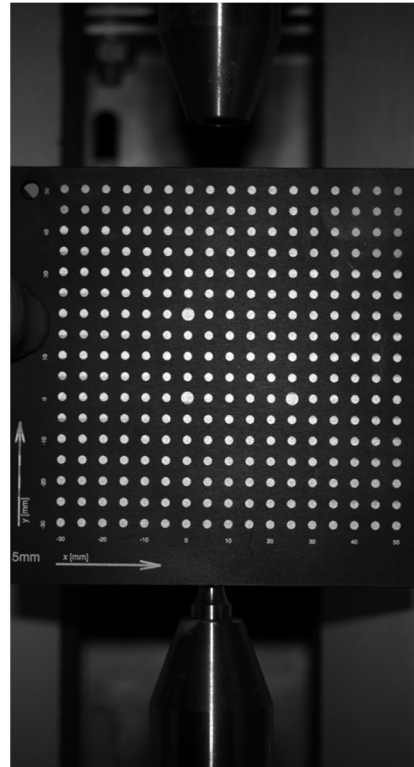
Obr. 3.5 – Zkušební vzorek z ocele 1.4301

Před začátkem měření bylo nutné zkalibrovat kameru pomocí kalibračních destiček. Kalibrace probíhala tak, že se kamera postavila do dané vzdálenosti od trhacího stroje a namísto vzorku se dovnitř vkládaly kalibrační destičky (obr. 3.6). Tyto destičky se natáčely do různých úhlů a v programu se všechny polohy snímaly (obr. 3.7). Ke kalibraci i samotnému měření je zapotřebí osvětlovat dané místo modrým světlem a to proto, aby se snížila interference od červených a infračervených paprsků záření ze zkušebního vzorku s vysokou teplotou.

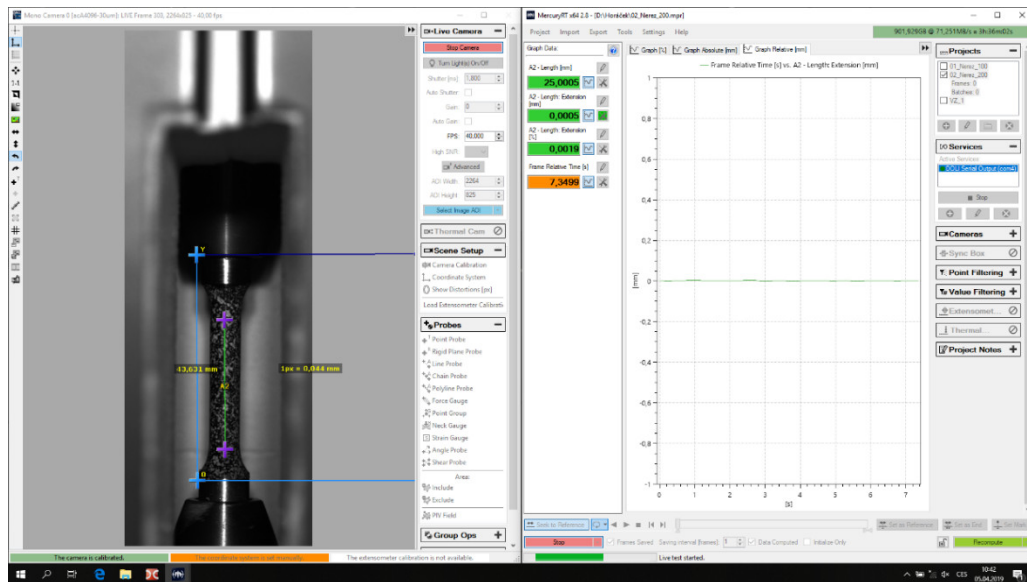
Po kalibraci už následovalo pouze upnutí vzorku pomocí závitů do závitových hlav na trhacím stroji, uzavření teplotní komory a nahřátí vzorku na požadovanou teplotu. Měření změny délky probíhalo pomocí optiky a programu MercuryRT od firmy Sobriety, s.r.o. (obr. 3.8), ve kterém se pomocí bílých teček zachytila počáteční měřená délka. Počáteční měřená délka a ostatní rozměry byly zadány do programu LabNet a následně byl vzorek předejzat na 200N. Rychlost posuvu byla proměnná, z počátku až do meze kluzu byla 1 mm/min a následně 15 mm/min až do přetržení vzorku.



Obr. 3.6 – Kalibrace pomocí kalibračních destiček



Obr. 3.7 – Snímek kalibrace v software MercuryRT



Obr. 3.8 – Program MercuryRT před zahájením zkoušky

3.3. Vyhodnocení zkoušky

Výsledky naměřené při statické zkoušce tahem byly zpracovány v programu LabNet, kde byly vyhodnoceny základní mechanické vlastnosti materiálu (R_m , $R_{p0.2}$, A) při jednotlivých teplotách a pracovní diagramy, které jsou uvedeny v přílohách. Měřilo se při teplotách RT, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C a 600°C. Při každé teplotě se změřilo 5 vzorků, v tabulce 2 a 3 jsou uvedeny naměřené hodnoty při zkoušce tahem a rozdělené podle teplot. V tabulce 4 jsou uvedeny statistické hodnoty jako průměrná hodnota \bar{x} a směrodatná odchylka σ mechanických vlastností každého měření.

Z výsledků byly sestaveny grafy demonstrující změny mechanických vlastností materiálu testovaných tyček v závislosti na teplotě materiálu i okolí. Body vyznačené na grafech odpovídají průměrným hodnotám získaných z naměřených hodnot dané teploty vzorku a jsou lineárně spojeny.

Tab. 2 – Mechanické vlastnosti měřených vzorků

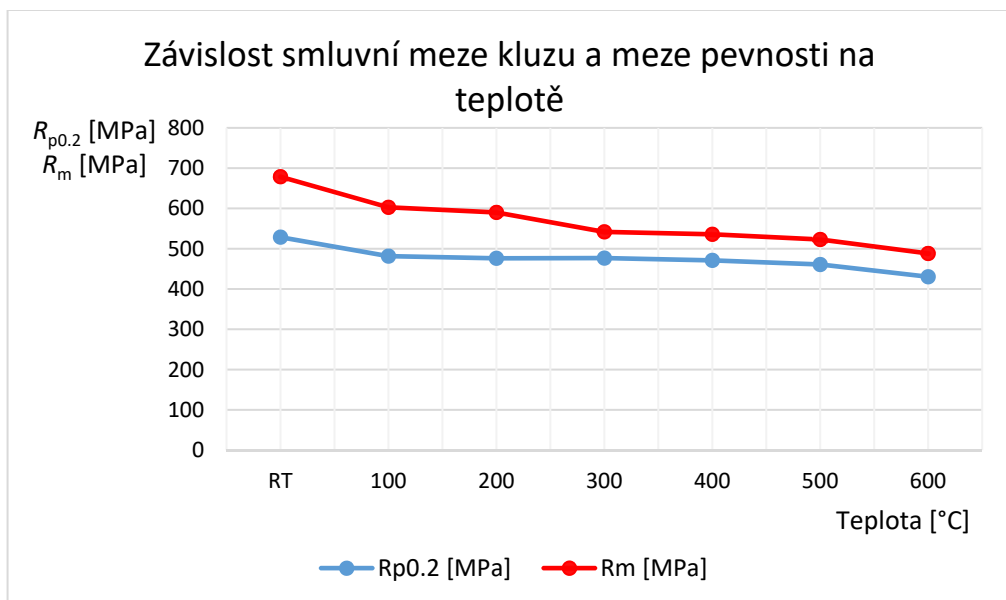
Teplota [°C]	Vzorek	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
RT	1	525.95	675.83	40.18
	2	531.82	684.6	40.96
	3	526.1	673.67	38.69
	4	531.63	681.29	39.26
	5	528.24	678.01	39.84
100	1	485.3	608	31.55
	2	482.27	603.32	35.43
	3	475.04	599.98	33.8
	4	484.29	605.3	34.73
	5	481.08	597.42	32.8
200	1	478.47	593.5	22.79
	2	478.07	591.36	22.34
	3	471.67	582.9	21.91
	4	471.61	585	23.25
	5	481.43	597.83	23.42
300	1	478.31	545.45	14.25
	2	472.7	538.25	13.93
	3	482.23	549.11	14.09
	4	479.9	540.04	13.52
	5	470.44	536.47	14.53
400	1	470.38	535.46	13.81
	2	464.86	528.73	13.55
	3	474.89	540.6	14.07
	4	467.81	532.08	13.62
	5	477.28	542.33	13.1

Tab. 3 - Mechanické vlastnosti měřených vzorků

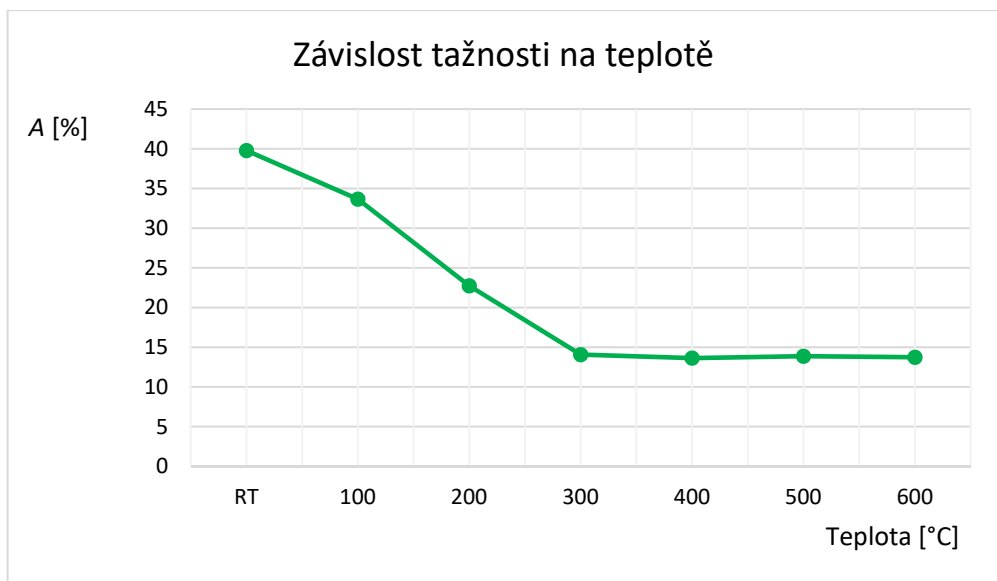
Teplota [°C]	Vzorek	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
500	1	460.8	522.92	13.67
	2	462.34	524.67	13.89
	3	459.06	521.18	14.31
	4	456.75	517.73	13.43
	5	465.24	528.19	14.07
600	1	430.47	487.82	13.79
	2	427.96	484.65	13.26
	3	432.31	492.64	14.3
	4	428.23	485.28	13.49
	5	433.3	491.03	13.86

Tab. 4 – Statistické hodnoty měření

Teplota [°C]	$R_{p0,2}$ [MPa]		R_m [MPa]		A [%]	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
RT	528.75	2.87	678.68	4.34	39.78	0.87
100	481.60	4.02	602.80	4.20	33.66	1.54
200	476.25	4.40	590.12	6.14	22.74	0.63
300	476.72	4.97	541.86	5.26	14.07	0.38
400	471.05	5.07	535.84	5.69	13.63	0.36
500	460.84	3.22	522.94	3.90	13.87	0.34
600	430.46	2.38	488.28	3.50	13.74	0.40



Obr. 3.9 – Graf znázorňující závislost smluvní meze kluzu a meze pevnosti na teplotě



Obr. 3.10 – Graf ukazující závislost tažnosti na teplotě

Z uvedených grafů lze pozorovat, že všechny měřené mechanické vlastnosti materiálu se se zvyšující teplotou snižují. První spojnicový graf (obr. 3.9), na kterém je vidět závislost průměrné hodnoty smluvní meze kluzu a meze pevnosti v tahu na teplotě, znázorňuje, že v rozmezí teplot RT až 600 °C se $R_{p0,2}$ zmenší z hodnoty 528.75 MPa na hodnotu 430.46 MPa, což dává pokles přibližně o 18,5% a hodnota R_m se zmenší z 678.68 MPa na 488.28 MPa. Zde se pokles rovná přibližně 28 %. Díky tomuto grafu je možno také vidět, že obě dvě veličiny mají velmi podobný průběh závislosti s výjimkou teplot mezi 200 °C a 300 °C, kde R_m má strmější pokles.

Druhý spojnicový graf (obr. 3.10) vykresluje závislost tažnosti na teplotě. Průměrná hodnota tažnosti A se mezi teplotami RT a 600°C změnila z 39.78% na 13.74%, procentuálně se jedná o pokles o 65,5% . Jak lze vidět na grafu tažnost výrazně klesá mezi teplotami RT a 300 °C a od této teploty už klesá velmi mírně v rámci desetin.

3.3.1. Analýza rozptylu ANOVA

Vliv teploty na naměřené hodnoty oceli 1.4301, které se udávají v tabulkách 2 a 3, se může určit statistickou metodikou. V této práci byla získaná data zpracována analýzou rozptylu (tzv. ANOVA), což je metoda, která posuzuje proměnlivost opakovaných realizací náhodného pokusu tj. proměnlivost náhodné veličiny.

Analýza rozptylu umožňuje určit vlivy (faktory), které ovlivňují výsledek náhodného pokusu trvale tj. významně a faktory, jejichž působení je náhodné a nevýznamné. Podle způsobu vyhodnocování se analýza dělí:

- Jednofaktorová analýza (analýza jednoduchého třídění) – vliv jednoho faktoru
- Vícefaktorová analýza – vliv více faktorů (dvojně, trojně třídění, atd.) [21]

Jednofaktorová analýza

V této práci nám postačí jednofaktorová analýza, při které se analyzuje účinek jednoho faktoru na zkoumanou nezávisle proměnnou. U jednofaktorové analýzy rozptylu se zjišťují rozdíly průměrů mezi více skupinami, které představují jednotlivé kategorie sledovaného faktoru, prostřednictvím výpočtu testovacího kritéria F .

Pro vyhodnocení analýzy rozptylu je nutné formulovat hypotézy, nulovou (testovací) hypotézu H_0 a pro případ jejího zamítnutí alternativní hypotézu H_1 . V našem případě:

- H_0 : vliv teploty na materiál je nevýznamný
- H_1 : vliv teploty na materiál není nevýznamný

Další krok při testování hypotéz je určení hladiny významnosti testu α (obvykle 0,05), což je pravděpodobnost, že se zamítne nulová hypotéza, ačkoliv platí. Následně se pomocí F-testu, který představuje základ výpočtů při analýze rozptylu vypočte testovací kritérium F . Poté se vypočtená hodnota testovacího kritéria F porovnává s kritickou hodnotou F_{krit} , která se určuje v závislosti na zvolené hladině významnosti. Jestliže hodnota $F > F_{krit}$, hypotéza H_0 se zamítá na dané hladině významnosti a přijímá se hypotéza H_1 . Dalším způsobem jak rozhodovat o platnosti H_0 , je p -hodnota, která kvantifikuje pravděpodobnost realizace hodnoty testovací statistiky, pokud nulová hypotéza platí. P -hodnota se porovnává s hladinou významnosti α a to tak, že když je $p < \alpha$ nulová hypotéza H_0 se zamítne. [21]

V této analýze se jako faktor zavedla teplota a hladina významnosti byla zvolena 0,05 (5%). Kvůli náročnosti celého výpočtu byla ANOVA provedena v programu MS Excel 2016. V následujících tabulkách jsou uvedeny statistické charakteristiky jednotlivých faktorů.

Smluvní mez kluzu v tahu $R_{p0,2}$

Tab. 5 – Tabulka faktor pro $R_{p0,2}$

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
RT	5	2643.74	528.748	8.21047
100	5	2407.98	481.596	16.16973
200	5	2381.25	476.25	19.3948
300	5	2383.58	476.716	24.64983
400	5	2355.22	471.044	25.70523
500	5	2304.19	460.838	10.37702
600	5	2152.27	430.454	5.67773

Tab. 6 – Tabulka ANOVA pro $R_{p0,2}$

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota-p	F_{krit}
Mezi výběry	25686.803	6	4281.134	271.9788379	1.76E-23	2.445259
Všechny výběry	440.739	28	15.741			
Celkem	26127.542	34				

Mez pevnosti v tahu R_m

Tab. 7 – Tabulka faktor pro R_m

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
RT	5	3393.4	678.68	18.8825
100	5	3014.02	602.804	17.61428
200	5	2950.59	590.118	37.68722
300	5	2709.32	541.864	27.71178
400	5	2679.2	535.84	32.40295
500	5	2614.69	522.938	15.19937
600	5	2441.42	488.284	12.24013

Tab. 8 – Tabulka ANOVA pro R_m

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota-p	F_{krit}
Mezi výběry	120094.849	6	20015.808	866.2803911	1.91E-30	2.445259395
Všechny výběry	646.95292	28	23.1055			
Celkem	120741.802	34				

Tažnost A

Tab. 9 – Tabulka faktor pro A

<i>Faktor</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
RT	5	198.93	39.786	0.75358
100	5	168.31	33.662	2.37227
200	5	113.71	22.742	0.39347
300	5	70.32	14.064	0.14158
400	5	68.15	13.63	0.12835
500	5	69.37	13.874	0.11688
600	5	68.7	13.74	0.15585

Tab. 10 – Tabulka ANOVA pro A

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota-p</i>	<i>F_{krit}</i>
Mezi výběry	3596.483949	6	599.414	1032.968636	1.648E-31	2.445259395
Všechny výběry	16.24792	28	0.58028			
Celkem	3612.731869	34				

Při porovnání všech testovaných kritérií F s kritickými hodnotami F_{krit} (tabulky 5 až 10), popřípadě hodnot- p s α , lze pozorovat, že pro všechny mechanické vlastnosti byla nulová hypotéza H_0 zamítnuta a přijata byla alternativní hypotéza H_1 . Z toho plyne, že vliv teploty na materiál 1.4301 není nevýznamný, neboli na mechanické vlastnosti materiálu byl prokázán velký vliv teploty.

4. Závěr

Cílem předkládané bakalářské práce bylo zjištění změny mechanických vlastností materiálu 1.4301 (označení dle ČSN EN 10027-2). Jedná se o nejběžnější austenitickou chrom - niklovou ocel s teplotní odolností do teploty 450°C. Chemické složení a austenitická struktura krystalové mřížky zaručuje dobrou tvářitelnost a svařitelnost metodou TIG, což byl jeden z požadavků firmy Lersen, s.r.o. Další požadavek firmy Lersen, s.r.o. na dlouhodobou teplotní odolnost materiálu teplotám 600 °C nebyl pro zvolený materiál dodržen, ale díky analýzám teplotního rozložení v teplosměnné lamelě se zjistilo, že lokální maxima dosahují cca 400 °C. Předpokládá se tak, že teplotní odolnost zvoleného materiálu bude dostačující. Zjištění rozložení teploty na povrchu teplosměnné lamely nebylo součástí řešení bakalářské práce.

V rámci experimentu prováděného v bakalářské práci byl prokázán výrazný vliv teploty na změnu mechanických vlastností korozivzdorné oceli 1.4301. Vzorky kruhového průřezu byly pomocí statické zkoušky tahem testovány při teplotách RT (pokojová teplota), 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C a 600°C s pětinasobným opakováním testu při stejných podmínkách. Bylo tak měřeno celkem třicet pět vzorků.

Při zkoušení se dle normy ČSN EN ISO 6892-1 vyhodnocovala smluvní mez kluzu $R_{p0.2}$, mez pevnosti v tahu R_m a tažnost A . Ze získaných hodnot se sestrojily spojnicové grafy, na kterých jsou zobrazeny závislosti těchto mechanických vlastností na teplotě. Z grafů je patrné, že v rozsahu testovaných teplot mezi RT (pokojovou teplotou) a 600 °C všechny pozorované vlastnosti klesají. Porovnáním průměrných hodnot při RT a 600 °C zjistíme, že smluvní mez kluzu $R_{p0.2}$ procentuálně klesla o 18,5%, mez pevnosti v tahu R_m poklesla o 28% a tažnost A klesla o 65,5%.

Naměřená data se statisticky vyhodnotila pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA). Z analýzy vyplývá, že zvolený faktor (teplota) má statisticky výrazný vliv na všechny pozorované vlastnosti materiálu a tedy pokles hodnot v závislosti na teplotě nebyl pouze náhodný.

Pokud by vlastnosti zvoleného materiálu při zvýšených teplotách nevyhovovaly a neprokázal by se předpoklad teplotní odolnosti ve fázi prototypové výroby a následných testů teplotní odolnosti, je možné zvolenou ocel 1.4301 nahradit ocelí 1.4541, která má výrazně větší teplotní odolnost. Tento předpoklad je však nutné podložit bezproblémovou lisovatelností obou typů materiálů.

Literatura

- [1] VELES, P. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. Bratislava: ALFA, 1985. s. 401. ISBN:063-552-89.
- [2] SKÁLOVÁ, Jana, Rudolf KOVAŘÍK a Vladimír BENEDIKT. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 4. vydání brožované. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-417-1.
- [3] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
- [4] MACEK, Karel. *Vady výrobků a zkoušky bez porušení* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ – Fakulta strojní – Ústav materiálového inženýrství [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3-6_vady-vyrboku-a-zkousky-bez-poruseni.pdf
- [5] *Vlastnosti kovů a jejich zkoušení* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM1/Vlastnosti_podklady.pdf
- [6] DRIML, Bohuslav. *Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf
- [7] MACEK, Karel. *Technologické vlastnosti* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ – Fakulta strojní – Ústav materiálového inženýrství [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3-5_technologicke-vlastnosti.pdf
- [8] MORAVČÍK, Roman, Marián HAZLINGER, Mária HUDÁKOVÁ, Maroš MARTINKOVIČ a Roman ČIČKA. *Nauka o materiáloch I*. Trnava: AlumniPress, 2010. ISBN 978-80-8096-123-7.
- [9] *Zkoušky vlastností technických materiálů* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=14603&revision=-1&instance=2>
- [10] *Wöhlerova křivka* [online]. [cit. 2019-06-11]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/PRU%C5%BDNOST/25_PRUZNOST_A_PEVNOST_W%C3%B6hlerova%20k%C5%99ivka%20a%20Smith%C5%AFv%20diagram.pdf
- [11] JANOVEC, Jiří a Jiří CEJP. *Mechanické vlastnosti* [online]. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ – Fakulta strojní – Ústav materiálového inženýrství [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3_2_struktura-a-vlastnostni-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf

- [12] *Mechanické vlastnosti* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z:
https://www.opi.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf
- [13] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkoušení metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [14] LUHMANN, Thomas. *Close range photogrammetry: principles, techniques and applications*. Dunbeath: Whittles Publishing, 2011. ISBN 978-184995-057-2.
- [15] WANG, Wei, Chenghai XU, Hua JIN, Songhe MENG, Yumin ZHANG a Weihua XIE. *Measurement of high temperature full-field strain up to 2000 °C using digital image correlation*[online]. [cit. 2019-06-19]. Dostupné z:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/aa56d1>
- [16] SKÁLOVÁ, Jana, Vladislav MOTYČKA a Jaroslav KOUTSKÝ. *Nauka o materiálech*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-677-0.
- [17] Vojtěch D.: *Kovové materiály*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 116. ISBN 80-7080-600-1
- [18] *Nauka o materiálu II Oceli* [online]. [cit. 2019-06-05]. Dostupné z:
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/NOM2.htm
- [19] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-7204-130-4.
- [20] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [21] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *ANOVA. Statistika a výpočetní technika* [online]. [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>

Seznam příloh

Příloha 1: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě RT

Příloha 2: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 100 °C

Příloha 3: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 200 °C

Příloha 4: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 300 °C

Příloha 5: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 400 °C

Příloha 6: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 500 °C

Příloha 7: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 600 °C

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

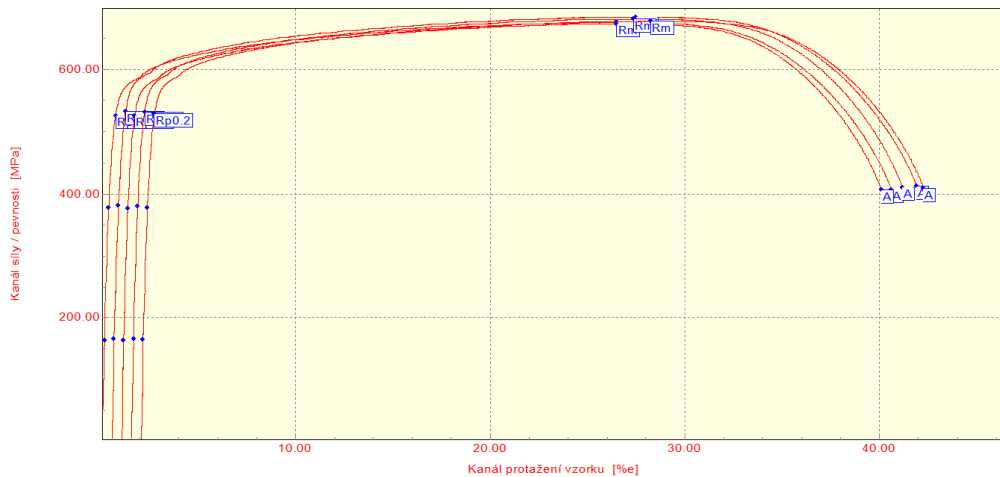
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : RT
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	RT	525.95	675.83	40.18
2	RT	531.82	684.60	40.96
3	RT	526.10	673.67	38.69
4	RT	531.63	681.29	39.26
5	RT	528.24	678.01	39.84

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	528.75	678.68	39.78
Směrodatná odchylka	2.87	4.34	0.87
Minimální hodnota	525.95	673.67	38.69
Maximální hodnota	531.82	684.60	40.96



STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

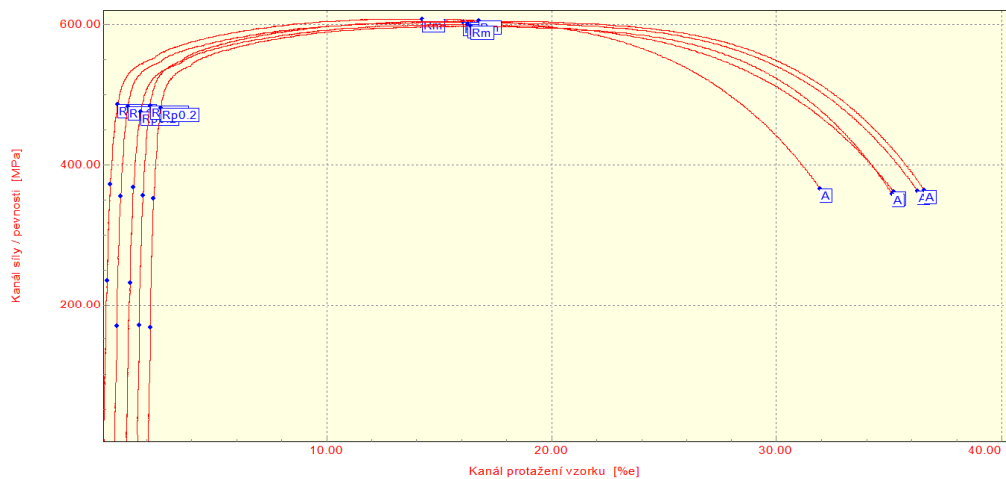
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 100°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	100°C	485.30	608.00	31.55
2	100°C	482.27	603.32	35.43
3	100°C	475.04	599.98	33.80
4	100°C	484.29	605.30	34.73
5	100°C	481.08	597.42	32.80

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	481.60	602.80	33.66
Směrodatná odchylka	4.02	4.20	1.54
Minimální hodnota	475.04	597.42	31.55
Maximální hodnota	485.30	608.00	35.43



STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

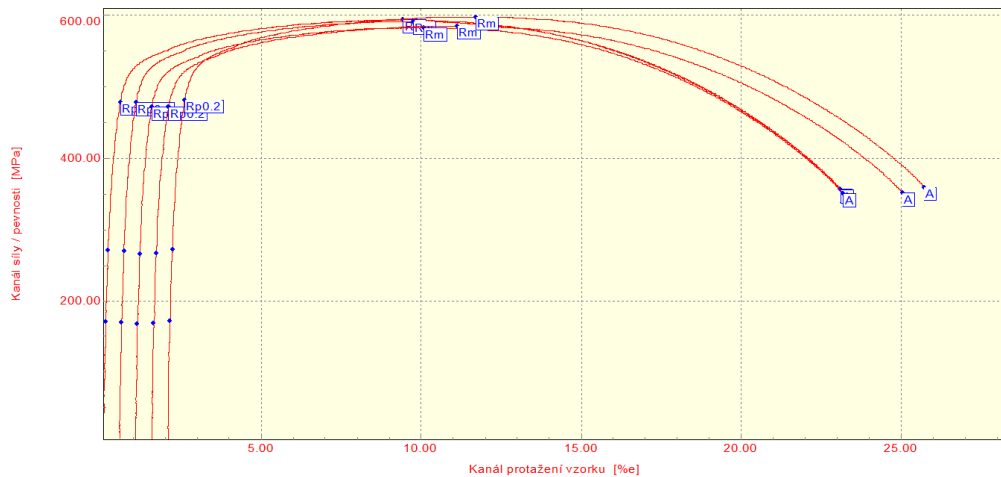
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 200°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	200°C	478.47	593.50	22.79
2	200°C	478.07	591.36	22.34
3	200°C	471.67	582.90	21.91
4	200°C	471.61	585.00	23.25
5	200°C	481.43	597.83	23.42

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	476.25	590.12	22.74
Směrodatná odchylka	4.40	6.14	0.63
Minimální hodnota	471.61	582.90	21.91
Maximální hodnota	481.43	597.83	23.42



Příloha 4: Protokol ze statické zkoušky tahem při teplotě 300 °C

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

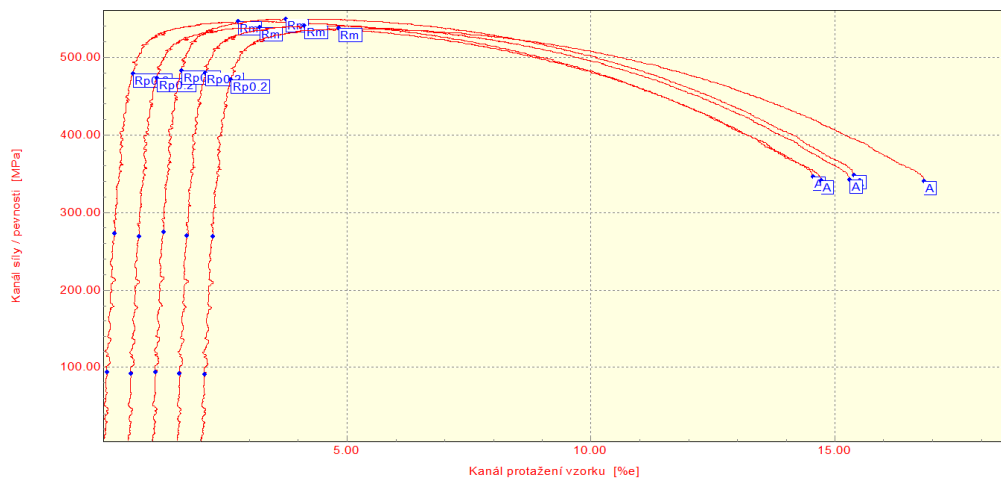
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 300°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	300°C	478.31	545.45	14.25
2	300°C	472.70	538.25	13.93
3	300°C	482.23	549.11	14.09
4	300°C	479.90	540.04	13.52
5	300°C	470.44	536.47	14.53

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	476.72	541.86	14.07
Směrodatná odchylka	4.97	5.26	0.38
Minimální hodnota	470.44	536.47	13.52
Maximální hodnota	482.23	549.11	14.53



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

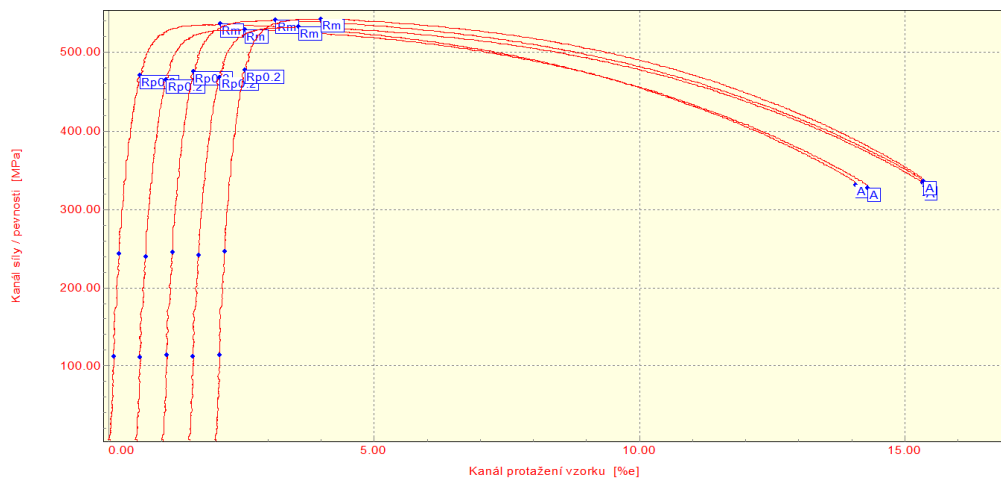
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 400°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	400°C	470.38	535.46	13.81
2	400°C	464.86	528.73	13.55
3	400°C	474.89	540.60	14.07
4	400°C	467.81	532.08	13.62
5	400°C	477.28	542.33	13.10

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	471.05	535.84	13.63
Směrodatná odchylka	5.07	5.69	0.36
Minimální hodnota	464.86	528.73	13.10
Maximální hodnota	477.28	542.33	14.07



STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

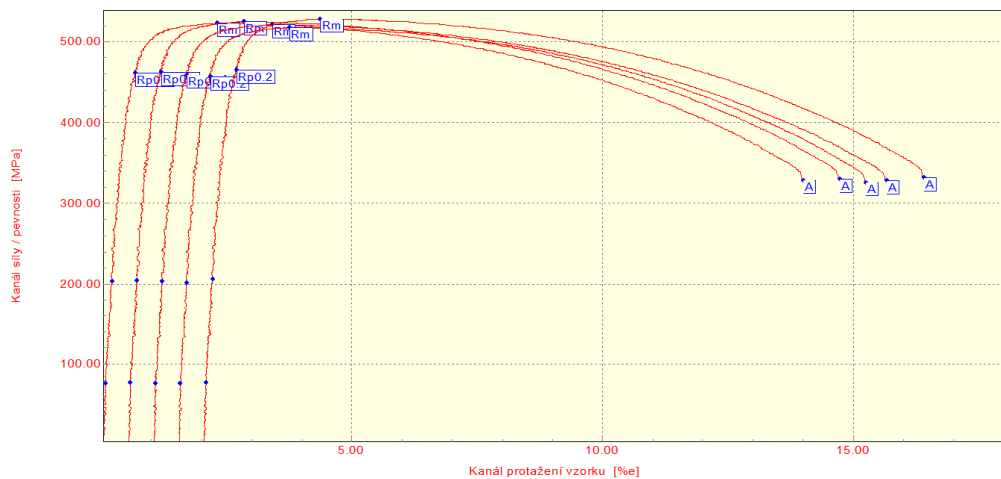
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 500°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	500°C	460.80	522.92	13.67
2	500°C	462.34	524.67	13.89
3	500°C	459.06	521.18	14.31
4	500°C	456.75	517.73	13.43
5	500°C	465.24	528.19	14.07

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	460.84	522.94	13.87
Směrodatná odchylka	3.22	3.90	0.34
Minimální hodnota	456.75	517.73	13.43
Maximální hodnota	465.24	528.19	14.31



STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : 1.4301 (označení dle ČSN 10088-1)
Rozměry vzorku : pr. 6 mm
Směr odebrání vzorku :
Teplota : 600°C
Rychlost posuvu : proměnná 1(15) mm/min.
Vypracoval : Vojtěch Horáček
Datum provedení testu : 14.2. 2019
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
1	600°C	430.47	487.82	13.79
2	600°C	427.96	484.65	13.26
3	600°C	432.31	492.64	14.30
4	600°C	428.23	485.28	13.49
5	600°C	433.30	491.03	13.86

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	430.46	488.28	13.74
Směrodatná odchylka	2.38	3.50	0.40
Minimální hodnota	427.96	484.65	13.26
Maximální hodnota	433.30	492.64	14.30

