

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Bc. Josef Tomanovič

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Vliv technologie lití na odolnost disku kol ze
slitin hliníku při rázovém zatížení

Bc. Josef Tomanovič

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef TOMANOVÍČ**

Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Vliv technologie lití na odolnost disků kol ze slitin hliníku při rázovém zatížení**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Charakteristika technologie výroby litých disků. 2. Rozbor možných zdrojů a typů vnitřních vad hliníkových slitin v dané aplikaci. 3. Současné metody testování odolnosti materiálů při dynamickém zatížení, aplikované v automobilovém průmyslu. 4. Návrh konstrukční úpravy zařízení pro testování rázové práce a nové metodiky testování. 5. Experimentální ověření navrhované úpravy. 6. Vyhodnocení vlivu reálné jakosti vybraných vzorků na odolnost při rázovém zatížení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Roučka J.: Metalurgie neželezných slitin: 1. vydání, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2. Michna Š., Lukáč I., Očenášek V., Schneider H., Drápala J. et al: Aluminium materials and technologies from A to Z

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce:

20. února 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

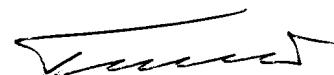
25. května 2009



prof. Ing. Bohumil Culek, CSC.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 5. 2009

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Evě Schmidové, Ph.D., za cenné rady a odbornou pomoc při jejím zpracování.

ANOTACE

Práce se zabývá popisem technologií výroby litých disků kol ze slitin hliníku a charakteristickými licími vadami. Dále je zde popsán návrh vlastního konstrukčního řešení přestavby stroje, který provádí zkoušku rázem v ohybu na rázovou zkoušku tahem. Určuji kvantitativně efekt vad odlitku na rozdíl mezi statickým a dynamickým zatěžováním a jejich ovlivněním pevnostních charakteristik základního výrobního materiálu.

KLÍČOVÁ SLOVA

hliníkový disk kola, licí technologie, rázová zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu, rázová pevnost

TITLE

Effect technology on immunity low pressure die casting of aluminum disc wheel on impact load.

ANNOTATION

This thesis is engaged in the description of technology of production casting discs of wheels from the aluminium alloy and with the description of the characteristic casting defects. Besides the project describes of the proposal of my own constructional solution of rebuilding the machine, which does the impact tesile crash test on the charpy impact test. I quantify the effect of defects of the cast on the difference between the statistical and dynamic loading and their interference of the strength characterization of the basic material for production. Besides the project describes

KEYWORDS

aluminum disc wheel, casting, impact tesile crash test, Charpy impact test, impact strength

OBSAH

ÚVOD	9
1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA Hliníkových kol.....	10
2 TECHNOLOGIE VÝROBY LITÝCH DISKŮ KOL.....	11
2.1 Nízkotlaký způsob lití hliníkového kola.....	11
2.2 Odlévací forma.....	12
2.3 Plnění a tuhnutí kovu v odlévací formě.....	12
2.4 Typy vnitřních vad	15
2.5 Eliminace defektů.....	15
2.5.1 Klesající licí rychlost plnění.....	15
2.5.2 Zlepšení schopnosti chlazení.....	16
2.5.3 Změna geometrie kola.....	16
2.6 Shrnutí poznatků.....	18
3 SOUČASNÉ METODY TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI MATERIÁLŮ	18
4 ZKOUŠKY RÁZEM.....	19
5 ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU	20
5.1 Historický vývoj.....	20
5.2 Podstata zkoušky.....	21
5.3 Účel zkoušky.....	21
5.4 Zkušební stroj.....	21
5.5 Princip měření nárazové práce.....	22
5.6 Zkušební vzorky.....	24
5.7 Použití a význam zkoušky rázem v ohybu.....	25
5.8 Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu.....	26
6 RÁZOVÁ ZKOUŠKA TAHEM „IMPACT TENSILE CRASH TEST (ITT)“.....	27
6.1 Historický vývoj.....	27
6.2 Podstata zkoušky.....	29
6.3 Účel zkoušky.....	29
6.4 Zkušební stroj.....	29
6.5 Princip měření nárazové práce.....	30
6.6 Zkušební vzorky.....	30
6.7 Použití a význam zkoušky rázové zkoušky v tahu.....	31
6.8 Výhody.....	31
7 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ÚPRAV	32
7.1 Vymezení problému a cílů řešení.....	32
7.2 Charakteristika Charpyho kladiva.....	32
7.3 Konstrukční návrh.....	33
7.4 Provedení přestavby.....	35
8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
8.1 Chemická analýza.....	36
8.2 Metalografická analýza.....	37
8.3 Příprava vzorků pro metalografickou analýzu.....	38
8.4 Makroskopická analýza.....	39
8.5 Mikrostrukturní analýza.....	41
8.6 Elektronová mikroskopie.....	43
9 REALIZACE EXPERIMENTU.....	44
9.1 Hodnocení podle tažnosti.....	47
9.2 Hodnocení podle rychlosti zatěžování.....	47
9.3 Hodnocení podle lomových ploch.....	48

9.4	Makrofraktografie lomových ploch.....	48
9.1	Mikrofraktografie lomových ploch	50
9.2	Fraktografie lomových ploch po experimentálním zatěžování.....	51
10	SHRNUTÍ POZNATKŮ	55
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM GRAFŮ.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Předložená diplomová práce představuje výrobní technologii, která se používá ve výrobě hliníkových kol a odolností disku kola při rázovém zatížení. Vybral jsem si toto téma, protože mě osobně zajímá technologický postup výroby a rázové testování materiálu.

Nové materiály, technologie a především nové přístupy k využití dosavadních znalostí se v oblasti konstrukce silničních dopravních prostředků objevují téměř každý den. Jejich praktický vliv na další rozvoj celého odvětví je však většinou značně omezený. Důvodem je zejména fakt, že se jen velmi malá část těchto technologií dokáže prakticky prosadit v takové míře, aby jim bylo umožněno přinést zásadní impulsy pro další rozvoj. Přesto konstruktéři i technologové všech významných automobilek vynakládají nemalé úsilí na jejich postupné zdokonalování. Výsledkem jejich práce je nakonec spokojený uživatel.

Hlavní konstrukční prvky automobilu jsou vyrobeny z ocelí a litin. Jedná se o běžné konstrukční oceli, šedou litinu, vysoce pevnostní nízkolegované oceli, vanadové oceli, oceli vysoce legované i ocelové součástky vyrobeny postupy práškové metalurgie. Ocel jako konstrukční materiál je přitom postupně nahrazován hliníkem nebo hořčíkem a jejich slitinami. Výhledově se pro konstrukční díly počítá rovněž s kompozitními materiály. A taky nesmíme zapomenout na plasty (termoplasty, termosety), které dnes tvoří podstatnou součást každého automobilu. Nesmíme zapomenout na ekologicky přijatelnou antikorozi ochranu.

Cílem mé práce je konstrukční návrh přestavby stroje, který provádí zkoušku rázem v ohybu na rázovou zkoušku tahem. Stroj se jmenuje Charpyho kladivo. Rázová zkouška tahem je odvozena od zkoušky rázem v ohybu. Návrh je samozřejmě doplněn potřebnými výpočty a zároveň výkresy jednotlivých sestav.

Dále, ověřit vliv rychlosti na dynamické chování s použitím modifikovaného experimentálního zařízení a určit kvantitativně efekt vad odlitku na rozdíl mezi statickým a dynamickým zatěžováním a jejich ovlivněním pevnostních charakteristik základního výrobního materiálu.

Práce si klade skromný cíl, umožnit další rozvoj v konstrukci silničních dopravních vozidel a jejich dílčích částí.

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA HLINÍKOVÝCH KOL

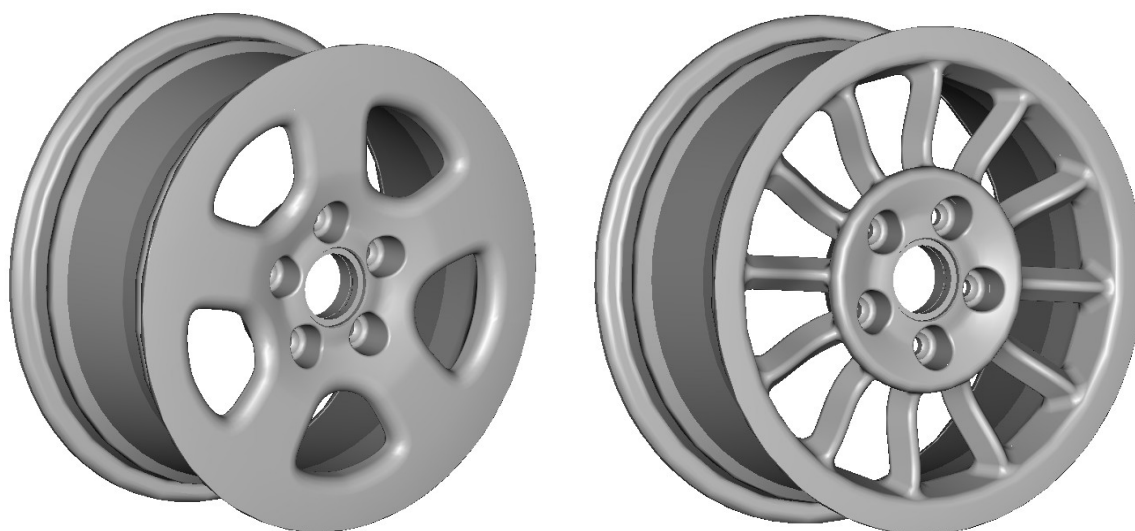
Automobilové kolo je jedinečné ve své funkci, protože musí splňovat kombinaci požadavků, které jsou na ně kladeny.

Kola nesou automobil a zároveň se jejich prostřednictvím, zpravidla pomocí předních kol, mění směr jízdy automobilu. Jsou posledním článkem v poháněcí soustavě vozidla a přenášejí hnací sílu na vozovku. Zároveň slouží k pérování automobilu. Musí mít potřebnou pružnost a pevnost a musí být dobře vyvážena, aby se zabránilo jejich kmitání, které má nepříznivý vliv na nápravu automobilu a na bezpečnost jízdy [1].

Jejich správná funkce je životně důležitá, protože jejich selhání může mít za následek zranění nebo smrt cestujících v motorovém vozidle nebo ostatních účastníků v silničním provozu.

Hliníková kola jsou vyráběna jako monoblok obr 1. Mají mnoho výhod, oproti konvenčním ocelovým kolům. Nižší hmotnost pozitivně ovlivňuje jízdní vlastnosti vozu, zlepšují odvod tepla brzd, a tím zvyšují jejich účinnost. Menší neodpružené hmoty se projeví na lepším pérování, díky menší hmotnosti kola se zvětšuje dynamika akcelerace, menší setrvačné síly a také šetří palivo [2].

V praxi se stále častěji setkáváme s materiály, jejichž cena je sice vyšší, než pořizovací náklady u běžných konstrukčních ocelí. Zato jejich vlastnosti jsou však pro dané použití vhodnější. Moderní konstrukční materiály významně prodlužují životnost výrobku, i při jeho nižší hmotnosti.

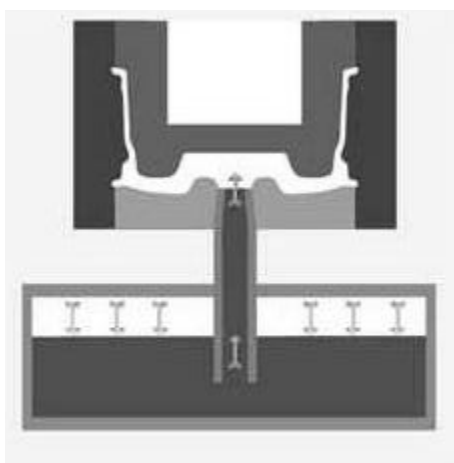


Obr. 1 Hliníková kola: a) pětispávková b) dvanáctispávková

2 TECHNOLOGIE VÝROBY LITÝCH DISKŮ KOL

Hliníková kola se vyrábí technologií přesného lití - nízkotlakým litím obr 2. Pro výrobu odlitků je použito odlévání do trvalých kovových forem. Vzhledem k vyšší rychlosti tuhnutí, dosahují odlitky jemnější strukturu a vyšší hodnoty pevnostních charakteristik. Technologie je hospodárná až pro sériovost výroby, protože výroba těchto forem je nákladná.

Při výrobě hliníkových kol se používá hliníková slitina typu AlSi11Mg a AlSi7Mg. Obsahující vedle hliníku křemík (6,5 až 11,2 %), hořčík (0,10 až 0,32 %) a malá množství dalších legujících prvků max. do 0,1 %. Dále je využívána přísada AlTi5B1. Jde o přísadu obsahující titan a bór.



Obr. 2 Nízkotlaký způsob lití hliníkového kola [3]

2.1 Nízkotlaký způsob lití hliníkového kola

Při nízkotlakém způsobu lití se tekutý kov vstříkuje do formy tlakovým vzduchem obr. 2. Rychlost plnění je až 0,5 m/s a použitým tlakem od 0,03 do 0,3 MPa. Forma se nasazuje těsně pod kelímek s roztaveným kovem. Po naplnění se ochladí tlakovým vzduchem a kov ztuhne. Odlitek kola se pak vyjme. Aby se zlepšilo zatékání kovu a ulehčilo vyjmutí odlitku, forma se před každým litím vystříká speciálním přípravkem na bázi anorganických silikátů a oxidů.

Výhody nízkotlakého lití hliníkového kola:

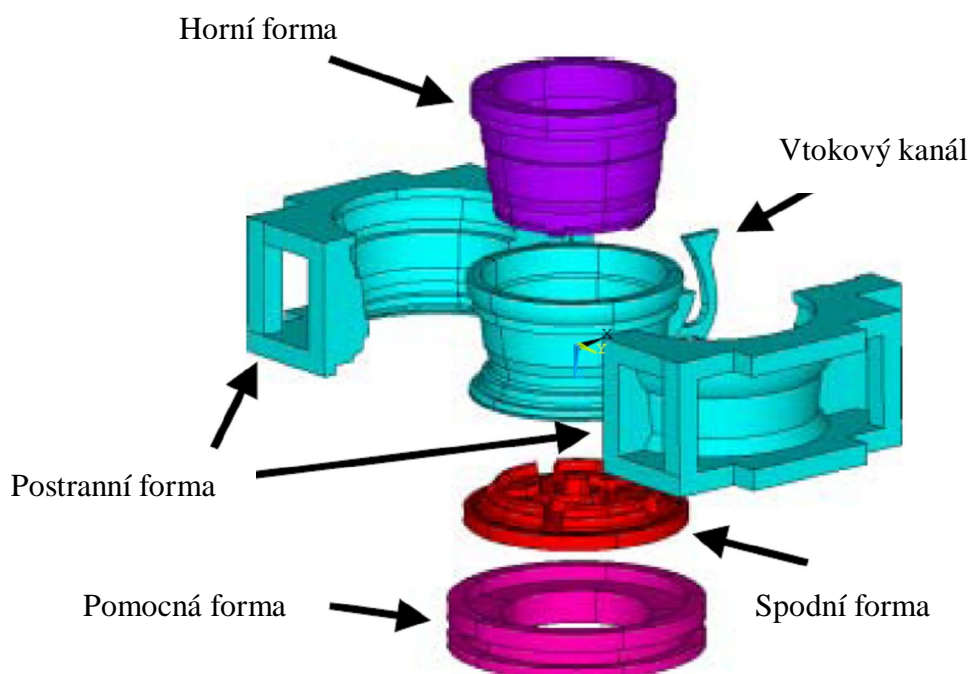
- 1) zlepšení kvality kola, a tím zvýšení spolehlivosti,
- 2) zmenšení všech nedokonalostí kvůli nevznikajícímu plynu nebo licí turbulenci v samotném lícím materiálu,
- 3) získání nejlepších mechanických vlastností plnění ve středu formy,

- 4) oxidy nejsou míseny do roztaveného kovu, protože tekutý kov je přiváděn ze spodní části,
- 5) nepřítomnost náliček dovoluje získat optimální výtěžnost kolem 85–95%.

2.2 Odlévací forma

Kovová forma je při odlévání odlitků namáhaná vysokými teplotami roztaveného kovu a cyklickou prudkou změnou teploty při opakovaném lití. Je plněna roztaveným kovem pod tlakem a pod tímto tlakem také kov ve formě tuhne.

Forma se skládá z: vrchní, postranní, spodní, a pomocné obr 3. Jestliže chladicí proces a počáteční teploty forem nejsou dobře řízeny, budou se vyskytovat licí vady [4].



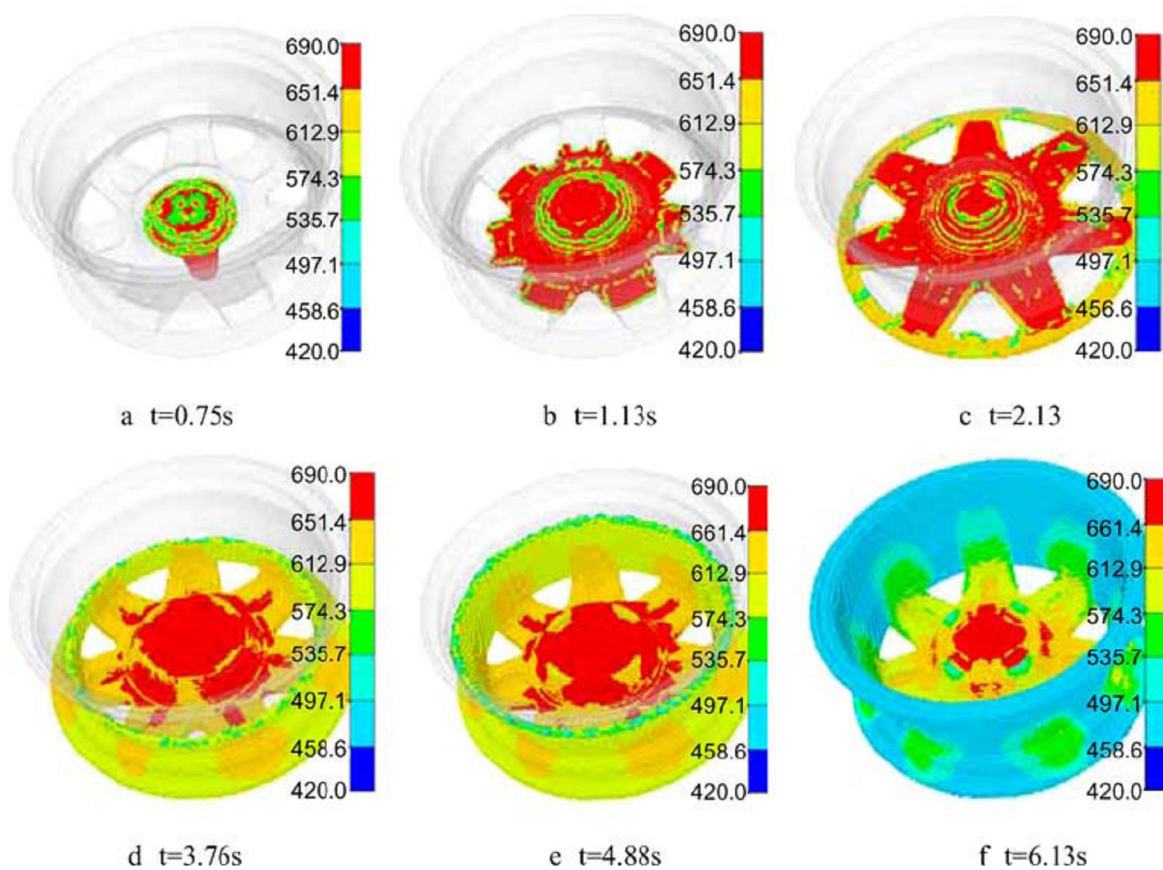
Obr. 3 Licí forma pro výrobu hliníkového disku kola [4]

2.3 Plnění a tuhnutí kovu v odlévací formě

Účinnost nízkotlakého způsobu lití se stává důležitou technologií pro hliníkové slitiny. V postupu nízkotlaké odlévací metody plnění formy tekutým kovem a samotného tuhnutí jsou důležité simulace toku roztaveného kovu v dutině formy. Simulace pomáhají pracovníkům ve

výzkumu a v jiných odvětvích porozumět zákonitostem plnění a tuhnutí během odlévání a předpovídají potenciální defekty.

Na obr. je zobrazeno plnění formy ve středu formy. Celý proces plnění je zachycen na obr. 4, který ukazuje teplotní pole během plnění. Nejdříve slitina teče přes vtokový kanál do dutiny, a potom plní střed a pomalu vstupuje do výpletů kol. V 1,38 s kov dosáhne spojení mezi lemem a výplety kol a spojí je navzájem v 2,13 s se spodní částí. V tomto okamžiku, teplota slitiny je 640°C. Kapalný kov dosáhne střední polohy lemu ve 4,88s, s teplotou asi 590°C, avšak vrcholu lemu až v 6,2 s [5].



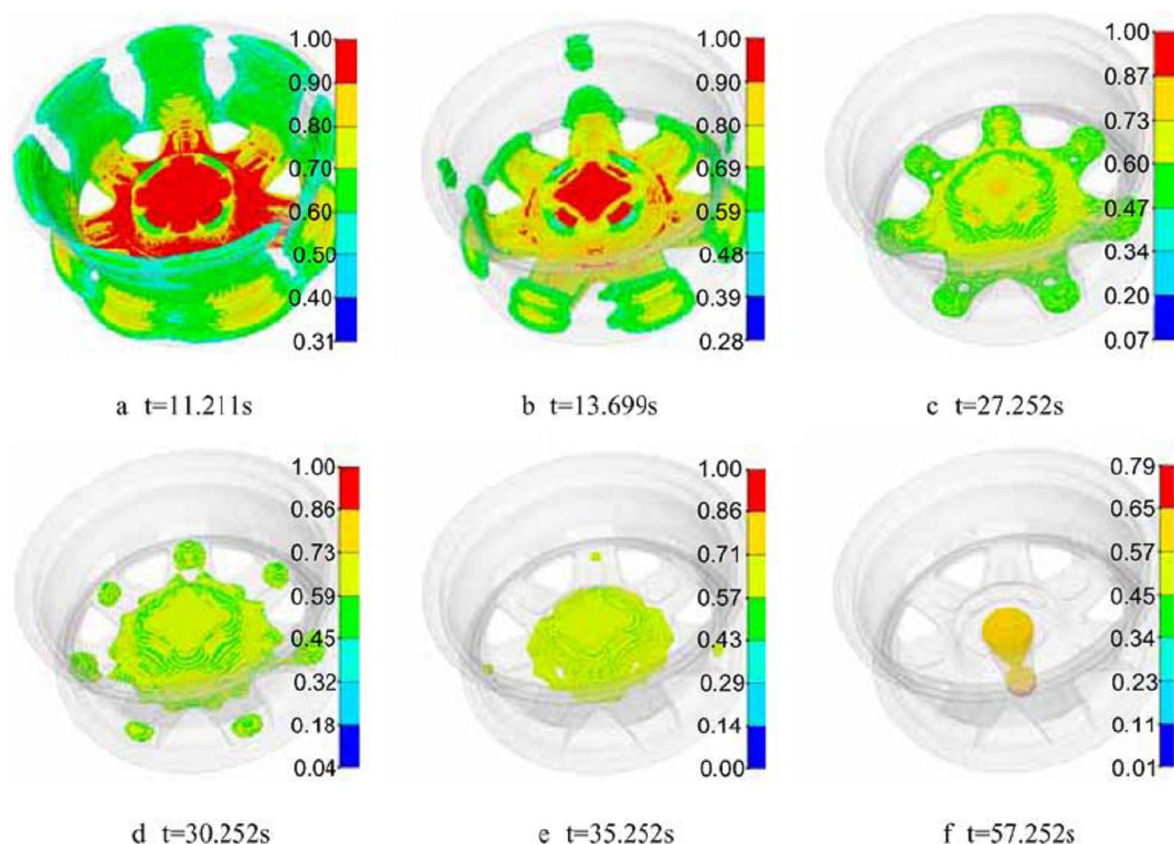
Obr. 4 Proces plnění

Dutina formy je naplněna úplně celá. Nevyskytuje se žádný nedolitek nebo místo bez kovu. V této době, teplota slitiny v horní části je asi 590°C. Nachází se v polopevném stavu. Teplota slitiny ve spodní části formy je asi 630°C, rozdíl teplot slitiny mezi vrcholem a spodní částí je asi 50°C (obr. 4).

Během procesu plnění, kdy přední strana dosáhne středu a výpletů kol se rychlost proudění zpomalí.

Proces tuhnutí začíná na konci plnění 6,2 s, a je dokončen ve 136,25 s [5].

Obr. 5 ukazuje kapalný průběh v různých stupních procesu chladnutí. Tmavé barvy signalizují, že slitina je v kapalném nebo tuhoucím stavu. Naopak, světlá barva signalizuje, že slitina je ztuhlá úplně. Barevné znázornění v různých oblastech lemu není jednotné, kvůli zatékání kovu v těchto oblastech. Tuhnutí v ráfku je rychlejší než ve výpletu kola obr. 5 a [5].



Obr. 5 Proces tuhnutí

Kvůli nesouměrnosti plnění formy se tvoří místní regiony, neboli kapalné ostrovy, které vedou ke generaci staženin obr. 5b. Předčasné tuhnutí nastává uprostřed výpletu kola obr. 5c. Z obr. 5 je viditelné, že teplota slitiny v lemu a paprskami kola je vyšší než ve středu výpletů kol během 25~35 s. Horká místa mají za následek vznik kapalných ostrovů v přechodu mezi lemem a paprskami kola, které jsou vygenerovány na obr. 5 d. Vedou k potenciálním vadám během posledního stupně tuhnutí procesu.

Tuhnutí začíná z vrcholu lemu směrem k centru středu [5].

2.4 Typy vnitřních vad

Z výše uvedené analýzy se vyskytují dva druhy defektů. Jsou to plynové bubliny a staženiny. První typ defektu je z plynu obsaženého buď, v základním materiálu nebo je vytvořen plněním, tzv. turbulentním plněním základním tekutým materiálem. Plynové dutiny se nejčastěji vyskytují ve výpletech kol. Mají hladké a jasné vnitřní plochy a kulovitý tvar.

Další defekt je staženina. Důvod vedoucí ke staženinám je takový, že slitina nemůže být dobře chlazená během procesu tuhnutí, proto vznikají staženiny. Vnitřní plochy těchto dutin jsou hrubé a matné, a jejich tvary jsou mezidendritické [5].

Objemové změny při tuhnutí (stahování) slitiny vedou ke vzniku soustředěných či rozptýlených staženin. Velikost a charakter těchto změn je rozhodující nejen při návrhu potřebných náliček, ale i při konstrukci celého odlitku, v níž je třeba usilovat o potlačování tepelných uzlů a postupným rozšiřováním směrem k místům, kde budou náličky připojeny, zajistit usměrněné tuhnutí.

Objemové změny při chladnutí (lineární smršťování) se projevují především změnou rozměrů chladnoucího odlitku, na které je brán zřetel při výrobě modelu. Vzhledem k nerovnoměrnému chladnutí odlitků a odporu formy a jader proti smršťování jsou tyto změny zdrojem odchylek rozměrů odlitků a navíc způsobují vznik pnutí, deformací, trhlin a prasklin. Při snaze o docílení co nejpřesnějších rozměrů odlitků je třeba uvažovat i se změnami rozměrů, ke kterým dochází při strukturních přeměnách během tepelného zpracování odlitků a s vlivem legujících prvků, které tyto strukturní změny ovlivňují.

2.5 Eliminace defektů

Řešení, k tomu, aby se odstranily tyto defekty, zahrnuje klesající licí rychlost a zlepšení chlazení formy [5].

2.5.1 Klesající licí rychlost plnění

Nízkotlaká licí rychlost je změněná, aby se odstranily defekty a redukovala jejich tvorbu. Licí rychlost je zmenšená, ale ostatní podmínky jsou zachovány. Nedojde k chycení plynu, tudíž se nemohou vyskytovat plynové bubliny uprostřed výpletu kola.

Při zvýšení rychlosti vyšším než 0,5 m/s má za následek okysličení roztaveného základního kovu, a tím obsazení tenkého oxidového povlaku a vzdušného polapení skrz nízkotlaké tlakové lité kolo.

2.5.2 Zlepšení schopnosti chlazení

K odstranění sraženin v lemu a paprsků kol a v místech jejich spojení se musí zlepšit účinek chlazení. Chladicí soustava se skládá z trubek, které jsou implementovány ve formě.

Chladicím médiem je vzduch nebo vodní chlazení.

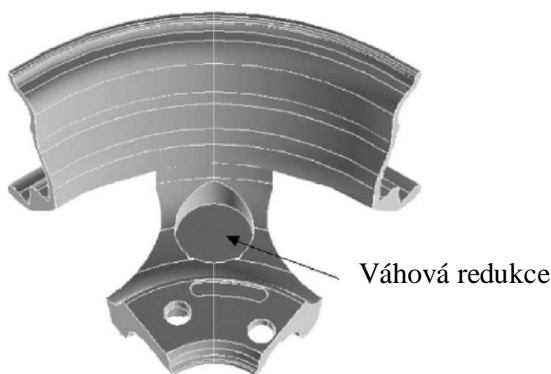
Způsoby chlazení zahrnuje samostatný systém potrubí od vrchní, až ke spodní části formy. Podle různé rychlosti proudění a průměru potrubí se dá řídit účinek chlazení.

Je patrné, že všemi druhy chladicích metod nemůžeme odstranit staženiny mezi lemem a paprsky kol absolutně. Můžeme je do jisté míry snížit, tak aby byly přijatelné. A dále jsme schopni jejich výskyt přesunout směrem ke středu kola.

2.5.3 Změna geometrie kola

Konstrukce kola pro hromadnou výrobu se obvykle modifikuje pěti možnými variantami :

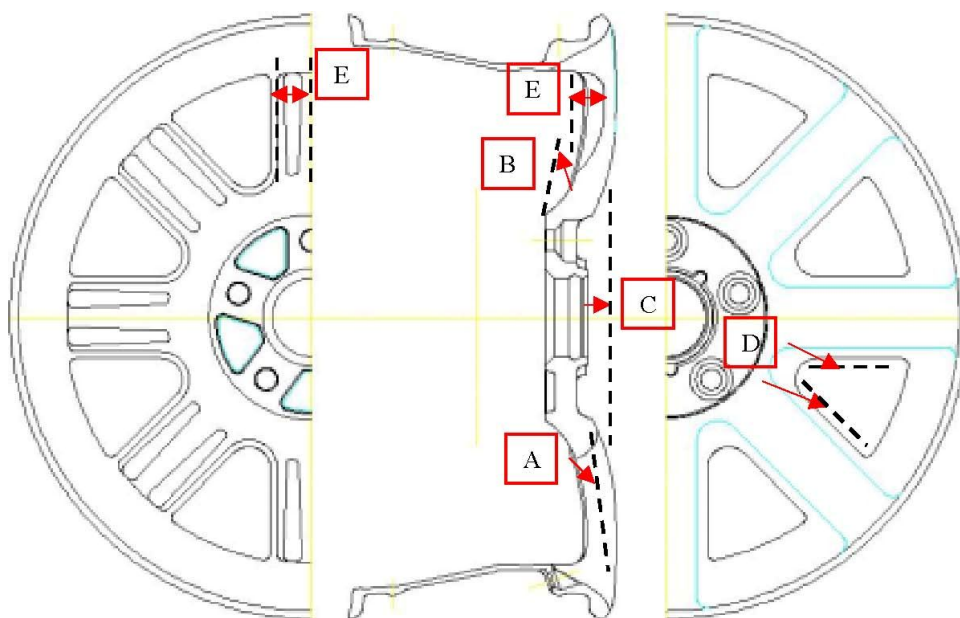
- A) rozměry a počtem paprsků kola
- B) změna úhlu paprsku kola
- C) změna průměru kola
- D) zvýšení čelní plochy středu kola
- E) provedením váhové redukce kola, a tím snížení hmotnosti kola a odstranění kapalných ostrovů obr. 6 [4]



Obr. 6 Váhová redukce díry na kole [4]

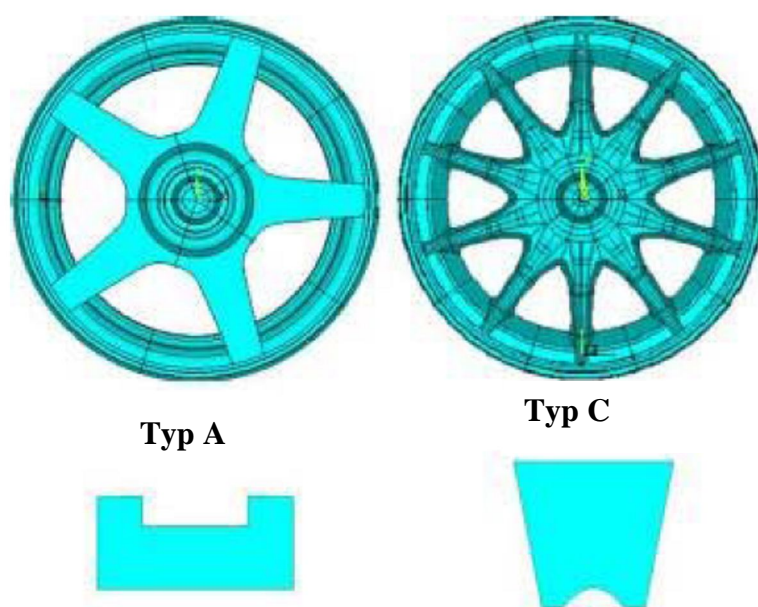
Obr. 7 označuje pozice, kterými zásadními způsoby měníme tvar, rozměr a estetiku kola. Hodnotami A a D se mění tvar paprsku kola, změnou B a C pozměňuje tuhost středu

kola, a parametrem E se přizpůsobuje šířka paprsků kola, které mají vliv na hmotnost. Jednotlivé změny jsou obvykle užívány výrobcí kol [6].



Obr. 7 Pět návrhů změn používaných výrobcem kol [6]

Obr. 8 ukazuje různé geometrie kol typu A a typu C. Kolo typu A má 5 paprsků a plocha přední strany je $1060,7\text{mm}^2$. Naproti tomu kolo typu C má 10 výpletů a plocha je $405,3\text{mm}^2$. Sníží se tím objem tekutého kovu a zamezíme i vzniku kapalných ostrovů [4].



Obr. 8 Změna geometrie tvaru paprsků kola Typ A a Typ C [4]

2.6 Shrnutí poznatků

Celkový proces plnění a následného tuhnutí nízkotlakého způsobu lití hliníkového kola je zde popsán a znázorněn. Hliníkové kolo bylo analyzováno a řešeno k tomu, aby se odstranily nebo redukovaly vady v odlitku. Následující závěry jsou uvažované z přítomné studie [4], [5]:

- 1) Vznik potencionálních defektů (plynových bublin, staženin) a jejich výskyt uprostřed výpletu kola, má za následek změnu teplotního a tokového pole formy i způsob chlazení formy.
- 2) I přes zmenšení licí rychlosti, plynové průliny, bubliny nebo staženiny jsou stále obsaženy v základním materiálu. Nelze je úplně odstranit jen redukovat jejich výskyt.
- 3) Zlepšení chladicí zařízení a intenzitu chlazení je nejefektivnější metodou k redukcí horkých míst mezi lemem a paprskami kola. Tím se dosáhne zmenšení kapalných ostrovů, které se pohybují směrem ke středu kola.
- 4) Zmenšením kapalných ostrovů nebo změnou polohy směrem ke středu kola se může snížit napětí kola, a tím se prodlouží životnost kola.

3 SOUČASNÉ METODY TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI MATERIÁLŮ

Mechanické vlastnosti jsou finální vlastností daného materiálu, které podmiňují jeho vhodnost pro určenou funkci a použití v praxi. Poznávání a zlepšování mechanických vlastností konstrukčních materiálů je celospolečensky motivované jejich optimálním využitím při výrobě strojů a zařízení.

Jednou z cest, které umožní lepší využití kovových materiálů, je hlubší poznání jejich vlastností a chování v složitých podmínkách namáhání. Rozvoj praxe si vynucuje stále vyšší nároky na vlastnosti konstrukčních materiálů.

Právě stále rostoucí požadavky na zlepšené a nové vlastnosti materiálů musí být splněné při zaručení bezpečnosti, spolehlivosti a životnosti vyráběných strojů a strojních zařízení. Týká se to zejména letecké a automobilové dopravy, tisíců kilometrů tlakových potrubí na ropu a plyn, tlakových zařízení tepelné a jaderné energetiky, ocelových mostů, lodí, ocelových konstrukcí budov, stožárů apod., tj. zařízení, u nichž selhání materiálu může mít katastrofální následky spojené s ohrožením mnohých lidských životů.

Cílem studia mechanických vlastností materiálů je jejich zlepšování a možnost poskytnout konstruktérovi kvantitativní údaje o chování materiálů v různých podmínkách namáhání na takové úrovni, aby se v maximální míře zabránilo poruchám zařízení způsobených selháním materiálu.

4 ZKOUŠKY RÁZEM

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyčinky nebo vzorku se použije najednou dostatečného množství energie tzv. rázová energie.

Rázem lze zkoušet pevnost:

- v tahu,
- ohybu,
- tlaku,
- krutu.

Protože v praxi jsou strojní součásti jen zřídka zatěžovány výhradně stálými či zvolna a plynule se měnícími silami, které charakterizují statické namáhání, provádí se vrubová zkouška houževnatosti. Častěji rostou zatěžovací síly skokem, nebo se opakovaně mění – jde o namáhání dynamické, jednak o rázové, nebo o cyklické.

Rozeznáváme dynamické zkoušky:

- rázové zkoušky – zatížení probíhá velkou rychlostí
- únavové zkoušky – zatížení se mnohonásobně cyklicky opakuje.

Při dynamickém namáhání dochází často k náhlým poruchám soudržnosti, i když zatěžující síly nedosahují statické pevnosti materiálu.

Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.

Rázová zkouška v ohybu má z rázových zkoušek největší význam. Používá se zejména u ocelí.

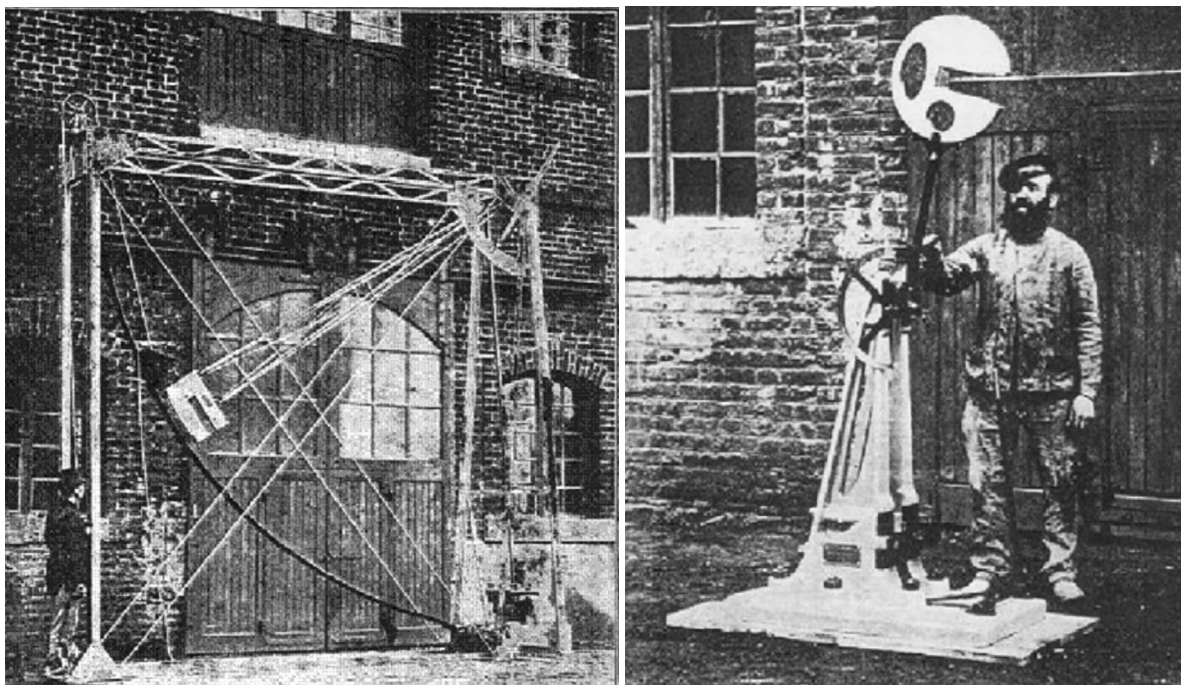
5 ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU

5.1 Historický vývoj

Historie zkoušky rázem v ohybu se datuje od začátku 20. století, kdy francouzský vědec Augustin Georges Albert Charpy, vyvinul testovací zařízení, tzv. Charpyho kladivo.

Od 1904 byly uskutečněné, A. G. A. Charpym v jeho laboratoři v Paříži, velmi užitečné vědecké práce vedoucích k tomu, aby se určilo množství rázové energie. První Charpyho kyvadlo je na obr. 9 a), z roku 1910, které má dřevěnou podpůrnou konstrukci a ocelové kladivo. Rozměry kladiva jsou velké, proto testy byly prováděny ve venkovním prostředí za daných teplotních stavů. Ukázalo se, že vysoké rychlosti deformace aplikované v teplotách blízko nebo pod pokojovou teplotou. Budou mít za následek křehkost nebo náhlou poruchu. Tento problém byl pak identifikovaný v několika katastrofálních poruchách ve feritových ocelových konstrukcích. Proto v roce 1920 je představeno první Charpyho kladivo s testováním zkušebních vzorků s V – vrubem, které má už podobu nynějšímu zkušebnímu stroje obr 9 b). Kladivo má kapacitu 300 J a testy se provádí v laboratorních podmínkách.

Na kongrese v Kodani v r. 1909 bylo doporučeno normování Charpyho zkoušky, která se brzo ujala a rozšířila po celém kontinentě evropském. Charpyho testy jsou dobrou metodou specifikující jakost ocelí proti křehkému lomu. Řada příkladů křehkého lomu byla zanesená i do záznamů [7].



Obr. 9 První Charpyho kladivo: a) z roku 1910, b) s V – vrubem s kapacitou 300 J z roku 1920 [7]

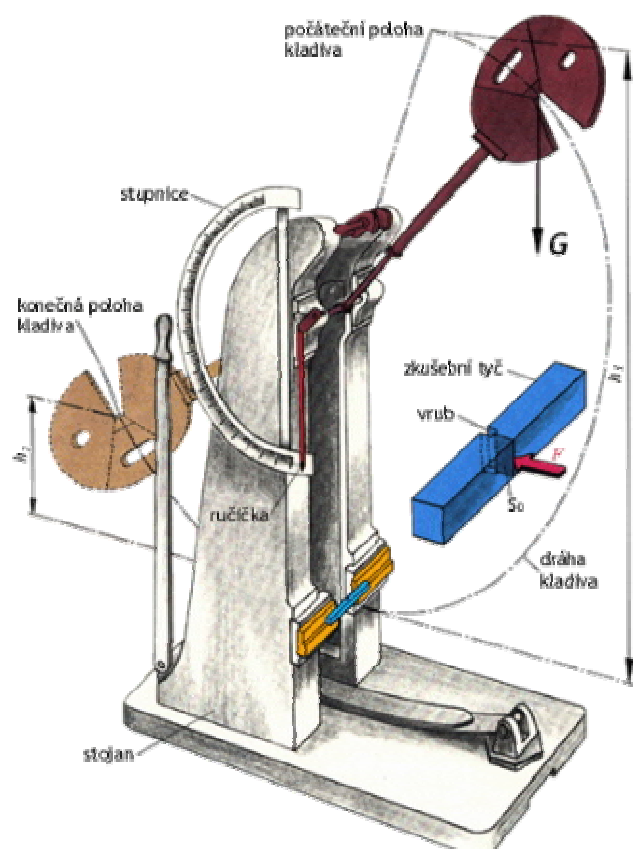
5.2 Podstata zkoušky

Zkouška rázem v ohybu spočívá v přeražení jednostranně vrubovaných zkušebních tyčí, nárazem beranu Charpyho rázového kyvadlového kladiva obr. 10. Zkouška končí úplnou destrukcí – přeražením zkušební vzorku. Cílem zkoušky je stanovení nárazové práce, která se stanovuje v joulech. Je měřítkem odolnosti materiálu proti rázovému namáhání.

5.3 Účel zkoušky

Zjišťujeme, kolik práce nebo energie se spotřebuje na přeražení zkušební tyčinky. Zkouší se jedním rázem. Touto zkouškou můžeme zjistit, zda zkoušený materiál je houževnatý nebo naopak křehký. Vrubovou houževnatost zjišťujeme zvláště u tepelně zpracovaných ocelí, svarů nebo u plastů určených k lisování, méně často u neželezných kovů. Zkouškou posuzujeme citlivost materiálu na koncentraci napětí v místě vrubu tyčinky [8].

5.4 Zkušební stroj



Obr. 10 Znárodnění Charpyho kladiva: a) schématické

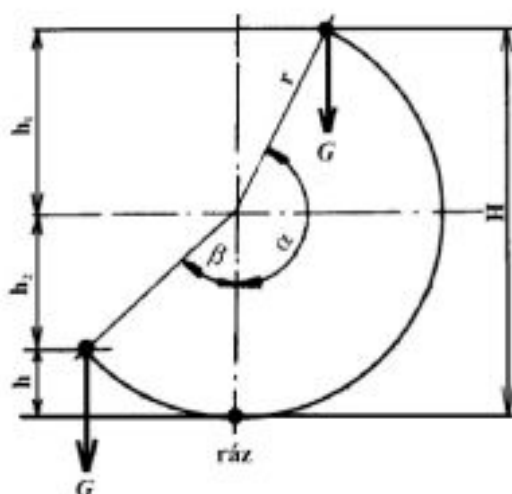
b) skutečné [9]

5.5 Princip měření nárazové práce

Charpy ukládá zkušební tyč na dvě pevné podpory a vede ráz doprostřed proti vrubu a kladivo narazí na zkoušenou tyč v rovině vrubu obr. 10 a). Zkušební těleso je přeraženo břitem umístěným na beranu kyvadlového kladiva spouštěného z definované výšky. Při zkoušce se určuje tzv. nárazová práce, tj. energie spotřebovaná (absorbovaná) na přeražení zkušebního tělesa. Hodnota nárazové práce je dána výškou, do které vykývá beran kladiva po zkoušce a buďto se odečítá ze stupnice umístěné na kladivu, nebo je zaznamenávána elektronickým snímačem polohy beranu kladiva obr. 11.

Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho pro kovové materiály se provádí podle ČSN EN 10045, pro plasty ČSN EN ISO 179-1. V poslední době se pro výzkum deformačního a lomového chování jak kovů, tak i plastů používá instrumentovaná rázová zkouška pro plasty. Příkladem takovéto normy je ČSN EN ISO 179-2, kde je popsáno stanovení rázových vlastností plastů ze záznamů závislosti síla-průhyb.

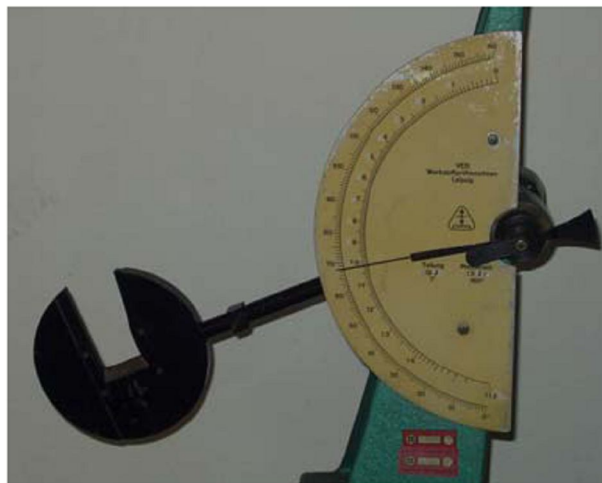
Kladivo vyzdvihneme do výšky H obr. 11 (úhel α) obr. 12 a), čímž mu dodáme potenciální energii o velikosti W_{p1} . Po uvolnění pojistky začne kladivo padat dolů – potenciální energie se postupně mění na kinetickou. Část této kinetické energie je spotřebována na přeražení vzorku (tzv. nárazová práce) a zbytek energie je využit na překmitnutí kladiva do výšky h (úhel β) obr. 12 b). Práce spotřebovaná na přeražení zkušební tyče (nárazová práce) K je dána rozdílem potenciálních energií [9].



Obr. 11 Princip měření nárazové práce na Charpyho kyvadlovém kladivu [9]



Obr. 12 Beran vychýlen: a) o úhel α



b) o úhel β [9]

Protože počáteční energie W_{p1} je dána konstrukcí kyvadlového kladiva je velikost nárazové práce $K = G \cdot (H - h)$ jednoznačnou funkcí výšky h , do které překmitne beran kladiva po přeražení vzorku. Hodnotu K je tedy možné jednoduše zaregistrovat vlečenou ručičkou, jak je tomu u starších kladiv, případně použít úhlového snímače výchylky, jak je tomu u novějších kladiv – ta elektronicky snímají výchylku beranu a přepočítávají ji hned na nárazovou práci, jejíž hodnotu ukáží v digitální formě na ukazateli. Změřená nárazová práce K se označuje podle užitého vrubu buď KU , nebo KV [9].

Výpočet deformační práce:

$$K = G \cdot (H - h) \quad [J] \quad (1)$$

$$G = m \cdot g \quad [N] \quad (2)$$

Výpočet vrubové houževnatosti:

$$KC = \frac{K}{S_0} \quad [J \cdot cm^{-2}] \quad (3)$$

kde KC – vrubová houževnatost (KCU nebo KCV)

K – nárazová práce

S_0 – plocha průřezu tyče pod vrubem

g – zrychlení

m – hmotnost

H, h – výšky

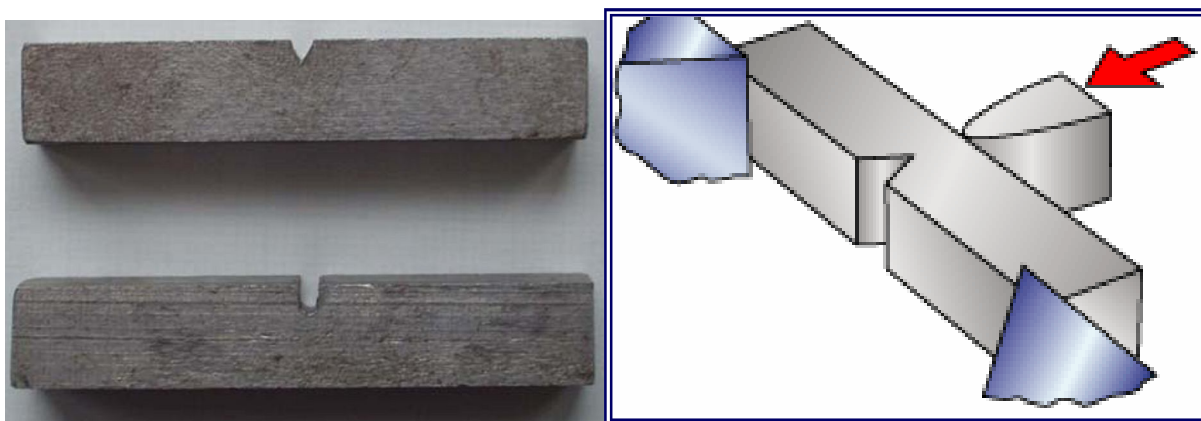
Velikost nárazové práce závisí na mnoha faktorech, jako je rychlost deformace, koncentrace a charakter napětí ve zkušební tyči (tvar vrubu, tvar a velikost zkušební tělesa), teplota, struktura a stav vnitřních pnutí. Proto jsou podmínky zkoušky za normální, snížené či zvýšené teploty stanoveny normami [8]:

- ČSN EN 10045-1 Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho – část 1: Zkušební metoda V a U vruby,
- ČSN 42 0382 Zkoušení kovů. Zkouška rázem v ohybu za snížených teplot,
- ČSN 42 0383 Zkoušení kovů. Zkouška rázem v ohybu za zvýšených teplot.

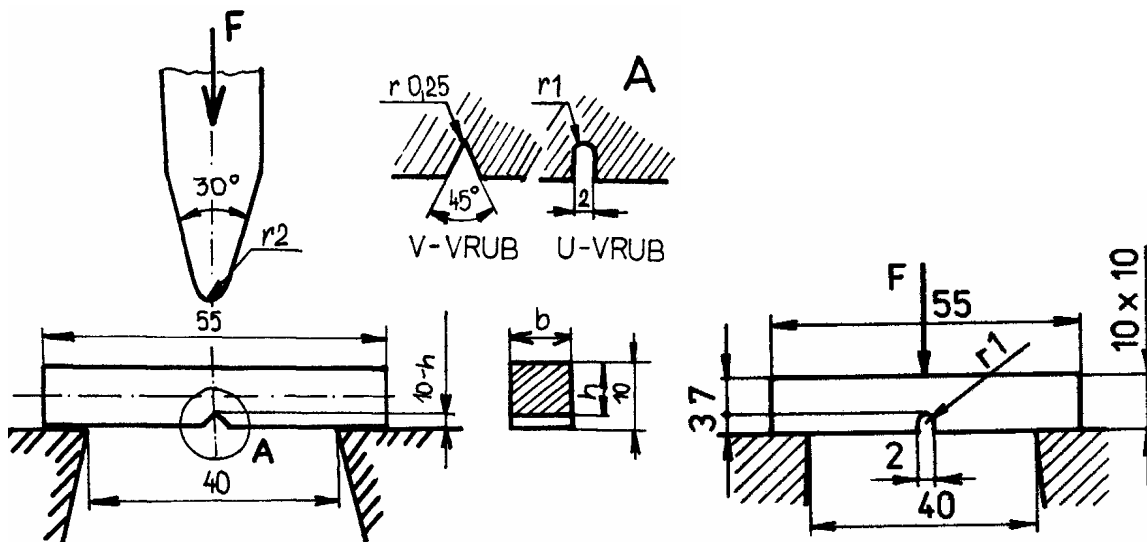
5.6 Zkušební vzorky

Požadavky na zkušební tělesa jsou uvedeny v normě ČSN EN 10045-1 obr. 14. Základní zkušební těleso má tvar hranolu čtvercového průřezu s délkou strany 10 mm a délkou 55 mm. Uprostřed délky je vytvořen vrub. Jsou předepsány dva typy vrubů - ve tvaru V a U obr. 13 a obr. 14.

Od kodaňského kongresu v roce 1901 prodělala zkušební tyč pro zkoušku rázem dle Charpyho celou řadu změn. Díky tomu se v současné době v jednotlivých členských zemích ISO (Mezinárodní standardizační organizace) používá celá řada velikostí a tvarů vrubů. Dosáhnout jednotnosti tvaru a velikosti vrubu je v současné době téměř nemožné, neboť s jednotlivými normalizovanými tyčemi byly v jednotlivých státech nashromážděny cenné informace, které není možno zevšeobecnit pro svoji empirickou povahu [8], [9].



Obr. 13 Skutečná zkušební tyč s V a U – vrubem [9]



Obr. 14 Schématické znázornění zkušebních tyčí s V a U – vrubem [9]

5.7 Použití a význam zkoušky rázem v ohybu

Existují nejrůznější případy, kdy je potřeba hodnotit odolnost materiálu z hlediska křehkého porušení:

- klasifikace ocelí - z materiálů, které jsou k dispozici vybíráme nejvhodnější pro daný účel
- kontrola dodržení výrobního postupu (tepelného zpracování, např. výskyt popouštěcí křehkosti)
- přejímání materiálu (v normách bývá uváděna hodnota vrubové houževnatosti při určité teplotě)
- výzkumné účely (rozbor vlivu rychlosti zatěžování, teploty)
- posouzení pravděpodobnosti výskytu křehkého lomu daného materiálu za určitých provozních podmínek
- vyšetřování příčiny lomu vzniklého za určitých provozních podmínek
- stanovení materiálových charakteristik, které lze použít při návrhu (výpočty) konstrukce bezpečné z hlediska křehkého lomu (maximální provozní napětí, velikost přípustného defektu, minimální provozní teplota)
- nárazová práce označí symboly (KU pro zkušební tyč s U – vrubem, KV pro zkušební tyč s V – vrubem)
- není-li teplota předepsána v příslušné normě, pak se zkouška musí provádět při teplotě $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
- deformuje-li se zkušební tyč během zkoušky, ale nepřerazí se, pak nárazovou práci nelze stanovit (v protokole o zkoušce se musí uvést, že zkušební tyč nebyla přeražena)

5.8 Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu

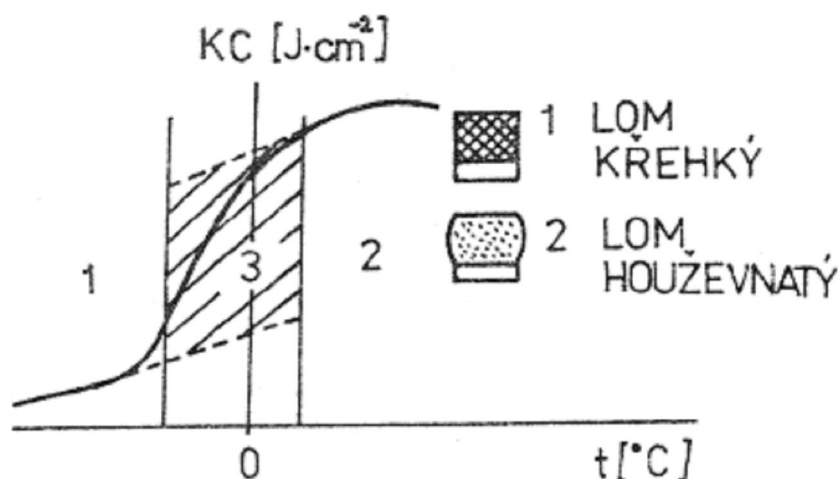
Mimo vrubovou houževnatost hodnotíme i vzhled lomové plochy. Z tohoto hlediska rozlišujeme křehký, houževnatý. Křehký lom nevykazuje deformaci, na lomové ploše jsou znatelné větší krystalky. Houževnatý lom má okolí lomu deformované. Pokud se tyčinka přerazí na dva kusy, usuzujeme na křehký materiál zkoušeného vzorku. Pokud se tyčinka ohne, ale přitom vznikne lom, pak zkoušený materiál je houževnatý obr.15.

Podmínkou platnosti zkoušky je vznik lomu.

Lze říci, že existuje značné množství zkoušek, jež umožňují hodnotit odolnost materiálu proti křehkému porušení.

Vzorky se zkoušejí při různých teplotách, aby se objevila velmi důležitá vlastnost každého materiálu, tj. tzv. přechodová teplota, která rozděluje oblast tvárných a houževnatých lomů, která udává teplotu, při které dochází k přechodu houževnatého porušení materiálu na křehký charakter porušení obr. 15. Snižuje-li se teplota při zkoušce, klesá nárazová práce potřebná k přeražení zkušební tyče. Při zjišťování za vyšších teplot, houževnatý (tvárný) lom se při poklesu teploty mění v lom křehký, který je obecně charakteristický pro nižší teploty

Způsob porušení materiálu není jen vnitřní vlastností, ale je i výsledkem působení rozdílných faktorů.



Obr. 15 Přechodová teplota

Vyhodnocení zkoušky odpovídá spíše praktickým hlediskům. Protože veličina určená podle (3) nemá fyzikální význam, neboť energie spotřebovaná na přeražení zkušebního tělesa by se měla vztahovat na deformovaný objem, který je těžko měřitelný.

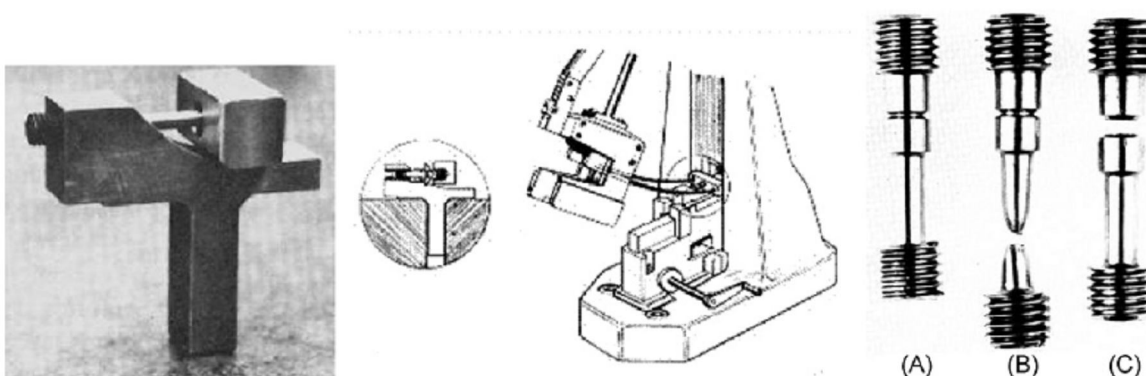
Většinou se často uvádí jen hodnoty nárazové práce (1). Hodnoty KC však nelze využít při pevnostních výpočtech.

Význam rázové zkoušky spočívá v kontrole technologie a tepelného zpracování [9].

6 RÁZOVÁ ZKOUŠKA TAHEM „IMPACT TENSILE CRASH TEST (ITT)“

6.1 Historický vývoj

V roce 1970, francouzští vědci Marc Grumbach & Germain Sanz představili a plně popsali princip nové zkušební metody, tzv. rázová zkouška tahem, která je odvozena od principu Zkoušky rázem v ohybu podle Charpyho. Změnili a přizpůsobili testovací zařízení a typ vzorku obr. 16. První testovací zařízení bylo určeno pro testování ocelových vzorků válcovitého tvaru. Díky tomuto vynálezu nastává důležitý rozvoj v lomových mechanikách.



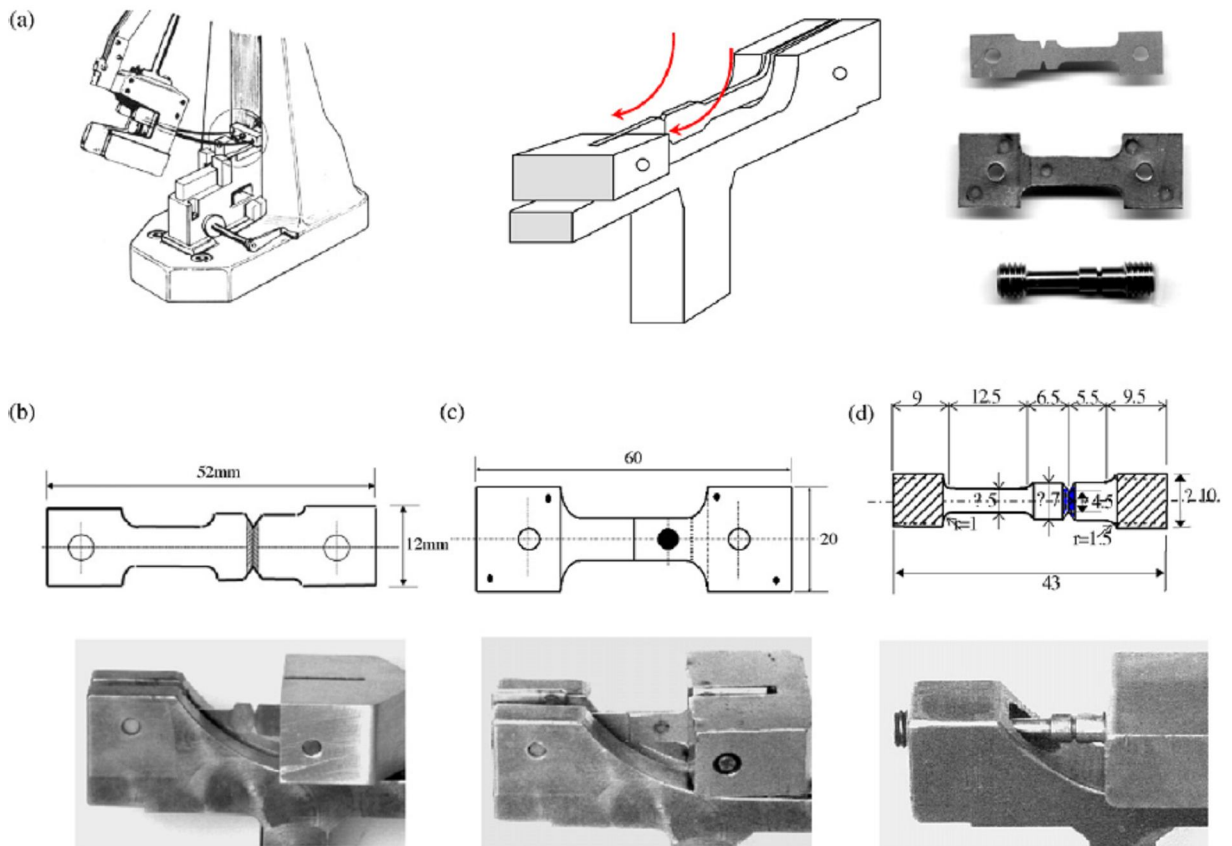
Obr. 16 Rázový tahový stroj (1970) s rozděleným kyvadlem o kapacitě 300 J [7]

V roce 1995, francouzští vědci Kaplan a Bayraktar vytvořili novou techniku testování, která byla s úspěchem aplikovaná na svařované materiály. Tloušťka plechů byla od 0,5 až po 5 mm. Vzorky jsou svařeny metodami LASEREM, GTAW a odporovým bodovým svařováním. Energetická úroveň nárazu byla rozšířena až na 450 J obr. 17.

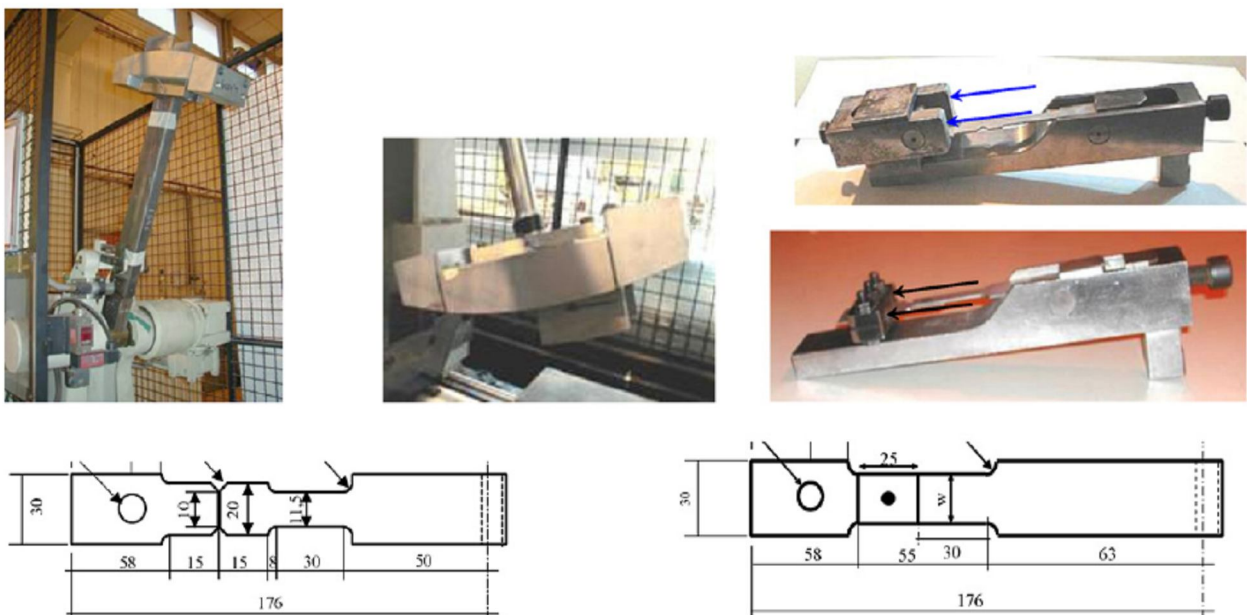
Dnešní zkušební stroj dovoluje testovat tenké svařené vzorky různými svařovacími metodami, ale energetická úroveň se vyšplhala, až na hodnotu 750–800 J. Podle testovací teploty a způsobu porušení se mění typ lomu. Kvůli koncentraci napětí se lom skoro vždy vyskytuje ve vrubové části. Kritérium porušení je hodnoceno štěpným napětím, a tím maximálním lokálním tlakem.

Obr. 18 zobrazuje nejnovější testovací zařízení z roku (2003), kde je viditelný rozvoj ITT testů.

Jedna z výhod ITT je přesné určení kvantitativní citlivosti materiálů. Přejít způsobu porušení obsahuje základní princip rázového tahového testu. Důvod pro nové testovací zařízení je vyvinutí jednoduchého nástroje, který ukáže možné výsledky bez rozptylu a odchylky. Tudiž podá co nejpřesnější výsledek [7].



Obr. 17 Testovací zařízení z roku 1995 lišící se geometrií vzorku a jeho použitím: b) svařovaný vzorek s vrubem, c) vzorek bez vrubu - svařovaný bodovým odporovým svařováním, d) válcovitý vzorek s vrubem po obvodu [7]



Obr. 18 Testovací zařízení z roku 2003, s energetickou úrovní 750 - 800 J [7]

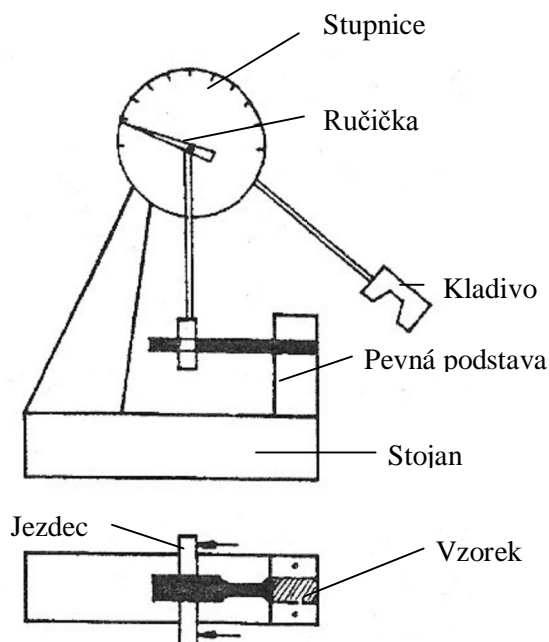
6.2 Podstata zkoušky

Rázová zkouška tahem spočívá v přeražení zkušebních vzorků, nárazem kladiva, a tím vyvolání tahové síly. Zkouška končí úplnou destrukcí zkušebního vzorku. Cílem zkoušky je stanovení nárazové práce, která se stanovuje v joulech. Je měřítkem odolnosti materiálu proti rázovému namáhání.

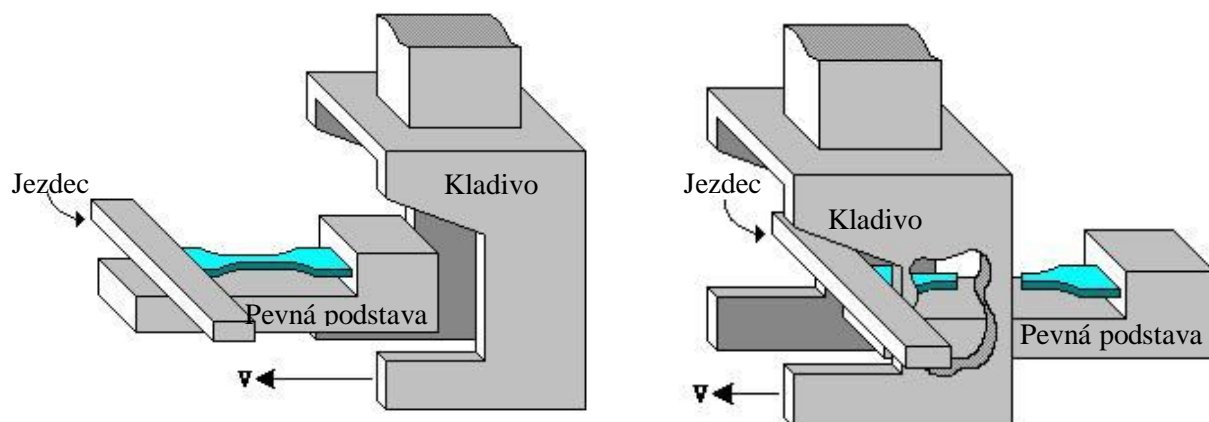
6.3 Účel zkoušky

Zjišťujeme, kolik energie se spotřebuje na rozlomení zkušební tyčinky. Zkouší se jedním rázem. Práce, vynaložená na přetržení měřené části tělesa se rovná součinu působící síly a prodloužení (spotřebované energii a deformace tělesa). Využívají se ke stanovení odporu materiálu vůči přetržení při vysokých rychlostech a lze je popsat jako tahové zkoušky při vysoké rychlosti deformace. Tímto způsobem se většinou zkouší houževnaté materiály obr. 19 [10].

6.4 Zkušební stroj



Obr. 19 Schématický obrázek zařízení pro rázové zkoušky tahem a upínání zkušebních těles [10]



Obr. 20 Funkce kladiva: a) před nárazem

b) po nárazu [11]

6.5 Princip měření nárazové práce

Vzorek je upnut do fixační podstavy a do jezdce, který se posunuje po podstavě. Kladivo je z výšky uvolněné a dopadá do jezdce, který vyvolá tahovou sílu. Tahovou silou je vzorek roztrhnut obr. 20. Energie nárazu je zaznamenána z aparátu, a potom je z nich odvozena nebo vypočítána energie nárazu nebo odvozená ze stupnice. Data jsou zobrazeny v grafické podobě [11].

6.6 Zkušební vzorky

Tloušťka a šířka zkušební vzorku je předem dána. Vzorek může obsahovat místo s vrubem, ale taky nemusí, jestliže máme dostatečnou energii rázu. Pozice vrubů může být přizpůsobena různým místům pro ohodnocení nepoddajnosti materiálů, a také chováním, např. v každém pásmu svařených kusů obr. 21.

Vzorky rázové zkoušky tahem	
Typy vzorků	Tvar
1	
2	
3	
4	
5	

Obr. 21 Typy vzorků pro rázovou zkoušku tahem [12]

6.7 Použití a význam zkoušky rázové zkoušky v tahu

V automobilovém průmyslu se rázová zkouška tahem uplatňuje pro hodnocení svarových spojů. Snadno hodnotí odpor základního materiálu a svařovaných částí. Díky ní můžeme sledovat: účinek, rychlost svařování, ale také chemického složení přeměn základního materiálu v závislosti na svařovací rychlosti a tloušťky materiálů pro různé jakosti ocelí.

Zjednodušuje vyhodnocení tuhosti základního materiálu a svařovaných částí, které mohou být zobrazeny i v grafické podobě.

Zkouška dává velmi jasné informaci o teplotních přeměnách uvnitř materiálu a rozsah přechodových pásem.

Tento typ testování a metody analýzy jsou dobře přizpůsobené k charakteru svařovaných částí pro různé druhy základního materiálů nebo k optimalizaci ve výrobních podmínkách s ohledem na jejich odpor k lomu v přítomnosti defektu.

Zkušební metoda dává příležitost k tomu, aby vysvětlila poškozovací mechanismy ve svařovaných konstrukcích, viz. např. norma: ČSN EN ISO 14323 (05 1113) - Odporové bodové a výstupkové svařování, Destruktivní zkoušky svarů, Rozměry vzorku a postup pro rázovou zkoušku stříhem a rázovou křížovou zkoušku tahem.

Rázovou zkoušku tahem je používána i na testování plastů. Zabývá se jimi norma ČSN EN ISO 8256.

6.8 Výhody

Hlavní výhody tohoto testu v porovnání s konvenční zkouškou rázem v ohybu jsou následující:

- nemusí být navrhnut vrub, jestliže je materiál dostatečně křehký,
- jen namáhání prostým jednoosým tahem v porovnání s nárazovou ohybovou zkouškou, kde se vyskytuje i ohyb,
- teploty přechodových pásem u svařování jsou určeny s velkou přesností,
- jednodušší návrh vzorků,
- rozměry vzorku – možnost testování tenkých plechů,
- testování různých materiálů – ocel, plasty, slitiny,
- testování různých výrobních technologií – svařování, lití, ...

7 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ÚPRAV

Konstrukční návrh spočívá v konstrukční úpravě zkoušky rázem v ohybu na rázovou zkoušku tahem a počítá s variabilitou obou metod, podle druhu a potřeby jednotlivé zkušební metody.

Pro samotný konstrukční návrh jsem vycházel z daného Charpyho kladiva, které vlastní Dopravní fakulta Jana Pernera – Materiálové laboratoře v Pardubicích obr. 10 b).

7.1 Vymezení problému a cílů řešení

Snahou je vytvořit účelné zařízení, které by vykonávalo rázovou zkoušku tahem.

Konstrukční návrh by měl být takový, aby dodržel všechny zásady pro správnou funkci a vyhovující konstrukční řešení. A taky zároveň splňoval požadavky na bezpečnost a jednoduchost na výrobu. Testovací zařízení tedy musí splňovat následující předpoklady:

- funkčnost zařízení
- nesmí omezit funkci původního zařízení
- pevnost a tuhost
- bezpečnost
- jednoduchost ovládání

7.2 Charakteristika Charpyho kladiva

Výrobce/název:	VEB WERKSTOFFPRÜF MASCHINEN LEPSIG
Rok výroby:	1986
Práce:	$W = 5 \text{ kpm}$
Nárazová energie:	50 J
Hmotnost:	$m = 6,784 \text{ kg}$
Délka ramene:	$r = 380 \text{ mm}$
Rychlost:	$v = 3,84 \text{ ms}^{-1}$

Je to kyvadlové kladivo, které se skládá z tuhé nosné ocelové desky, dvou stojanů, kyvadla s kladivem. Mezi stojany se kývá kyvadlo, na kterém je zavěšeno kladivo. Kladivo má ocelový kalený břit, v místě vybrání kladiva je těžiště. Další části tohoto testovacího

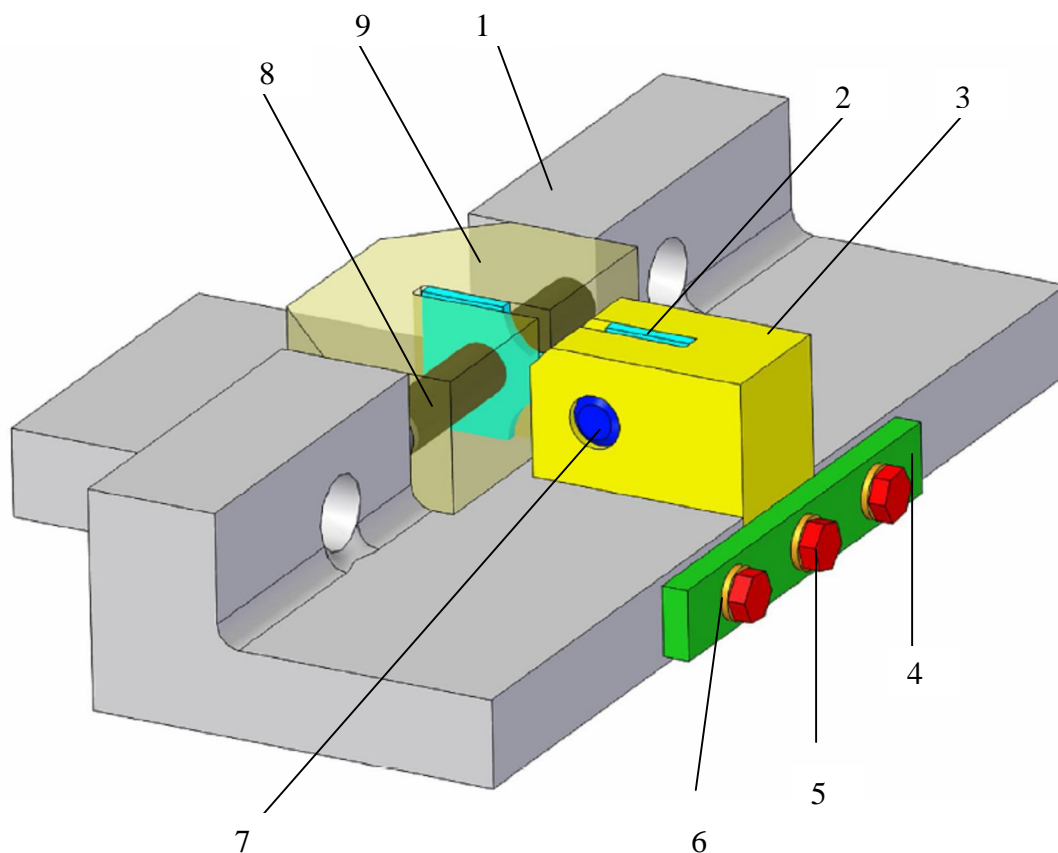
zařízení jsou podpěry. V nulové poloze je zkušební tyčinka čtvercového tvaru s vrubem volně položena.

7.3 Konstrukční návrh

Zkušební zařízení vychází z konstrukce Charpyho kladiva. Demontoval jsem z nosného stojanu čelisti, do kterých se ukládá zkušební tyč, a také nárazové kladivo. Změřil jsem rozměrové možnosti a z toho vyplynula konstrukční úprava.

Přestavba Charpyho kladiva začíná nejdůležitější částí a to podstavou, která musí být tuhá obr. 22. Celek podstavy tvoří podstava1 a podstava2, které jsou k sobě přimontovány pomocnou plochou tyčí 16x6 a přišroubovány šrouby s podložkami M6x18. To je vloženo místo původních čelistí a též přišroubované původními demontovanými šrouby do stojanů V podstavě 2 se nachází díra na čep o ϕ 12x30. Dále přibyl jezdec, ve kterém je také otvor na čep o průměru 12x80. Mezi podstavu 2 a jezdec je vložen vzorek. Jezdec bude vykonávat posuvný pohyb při nárazu kladiva.

Volím materiál 12 050, ze kterého budou vyrobené všechny podstatné funkční části.



Obr. 22 Konstrukční návrh nosné podstavy

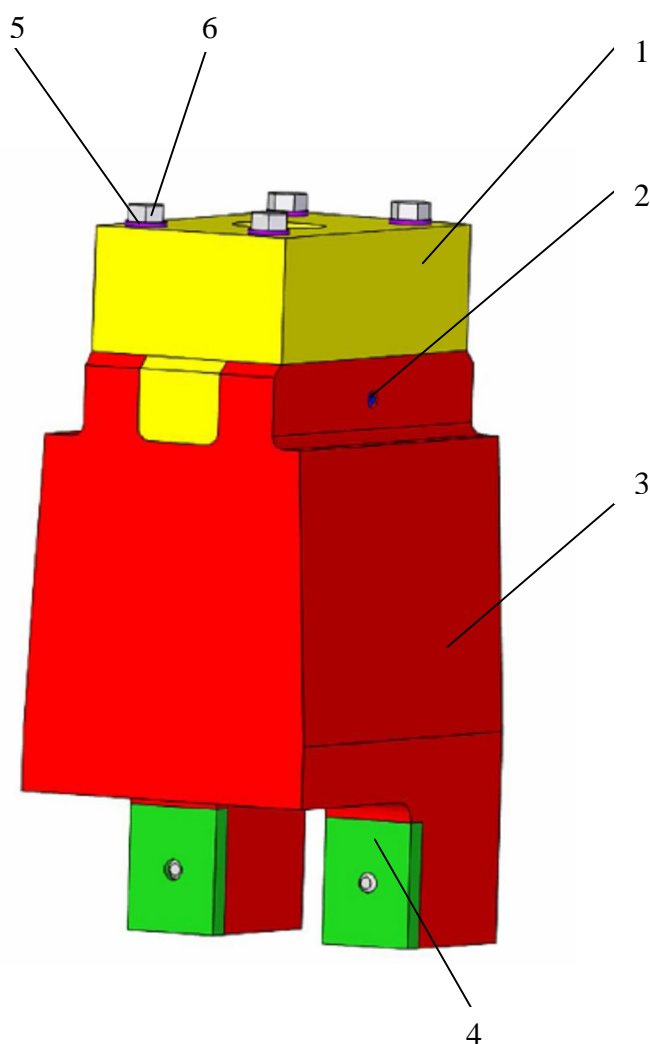
1 – podstava1, 2 – zkušební vzorek, 3 – podstava2, 4 – tyč plochá, 5 – šroub M6x18, 6 – podložka 6,4,
7 – čep ϕ 12x30, 8 - čep ϕ 12x80, 9 – jezdec

Další konstrukční návrh se týká samotného kladiva. Původní kladivo nevyhovuje změně, proto je nutné upravit tvar i rozměry kladiva obr. 23. Sestavu kladiva tvoří nosná část, narážecí destičky a výztužná součást. Osa symetrie prochází středem závěsné tyče. Konstrukce kladiva musí být symetrická a vyvážená na obě strany od středu osy.

Nosná část a výztužná součást jsou k sobě přišroubovány šrouby s podložkami M6x40. Do výztužné součásti je vložena původní nosná tyč, na které je zavěšeno nové kladivo. Přes výztužnou součást a nosnou tyč prochází kuželový kolík o ϕ 4x50. Funkce kuželového kolíku je, aby nedocházelo ke stáčivému pohybu kladiva do stran.

Narážecí destičky umístěné na kladivu, jsou přišroubované šrouby M5x40 s podložkami.

Byl zvolen materiál 12 050, ze kterého budou vyrobené všechny části.



Obr. 23 Konstrukční návrh narážecího kyvadla

1 – výztužná součást, 2 – kuželovitý kolík, 3 – narážecí kladivo, 4 – narážecí destičky, 5 – podložka 5,3; 6 – šroub M5x40

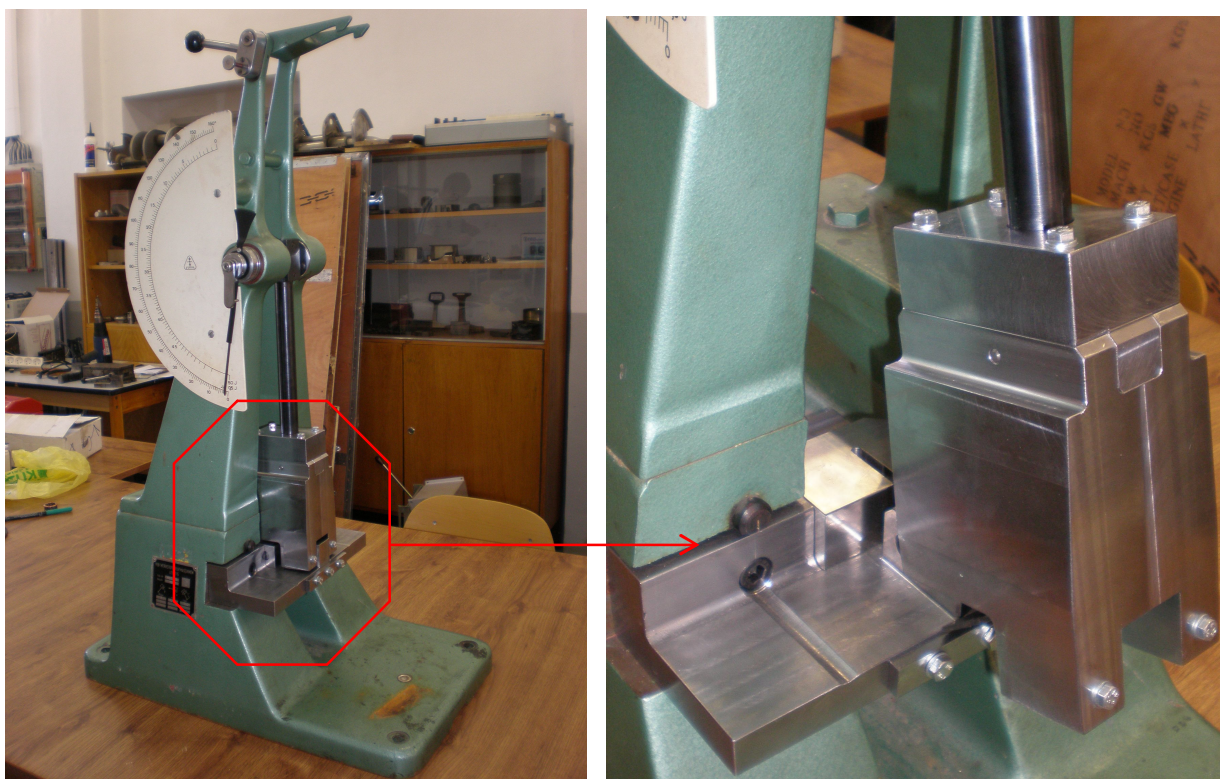
Změna Charpyho zařízení, na kterém se prováděla zkouška rázem v ohybu a nyní rázová zkouška v tahu přináší z konstrukčního návrhu řadu změn. Změny se týkají: hmotnosti kladiva a tím i rázové energie. Délka ramene a rychlost zůstala stejná. Hodnoty pro srovnání jsou uvedeny v tabulce 1:

Tabulka 1 Srovnávací hodnoty

	Původní hodnota	Nová hodnota
Hmotnost kladiva m	6,784 kg	8 kg
Energie rázu	50 J	60 J
Rychlost v	3,84 ms ⁻¹	3,84 ms ⁻¹
Délka ramene r	380 mm	380 mm

7.4 Provedení přestavby

Konkrétní reálné provedení přestavby Charpyho kladiva je na obr. 24. Musely být uskutečněny jen drobné úpravy při montáži, ale ty neměly vliv na funkci a chod.



Obr. 24 Reálná a funkční přestavba

8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Při experimentální části byly používány přístroje:

- 1) Přímočará pila Black & Decker
- 2) Mikron 110 – přesná pila pro experimentální účely
- 3) MTX APX 10 – leštící a brousící zařízení
- 4) Neophot 21 – světelný mikroskop
- 5) Charpyho kladivo
- 6) Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130
- 7) Trhací stroj

Pro experimentální část této práce bylo vybráno použité hliníkové automobilové kolo. Je určeno pro osobní automobily. Technologie výroby byla popsána v předešlé kapitole 2. Zabýval jsem se porovnáním základního materiálu při výrobě hliníkových kol.

Zkoumané hliníkové kolo je sedmipaprskové s typovým označením: 6Jx15H2 ET45. Tedy šířka ráfku je 6 a průměr ráfku je 15, hodnoty jsou v anglických palcích. Tvar ramene ráfku je do J. Je prohloubený a má oboustranně zaoblené vyvýšení pro dosedací plochu patky pneumatiky.

U nízkotlakého způsobu lití hliníkového kola se vyskytují defekty. Zjišťoval jsem charakter výrobních vad hliníkové slitiny. Určuji kvantitativně efekt vad odlitku na rozdíl mezi statickým a dynamickým zatěžováním a jejich ovlivněním pevnostních charakteristik základního výrobního materiálu.

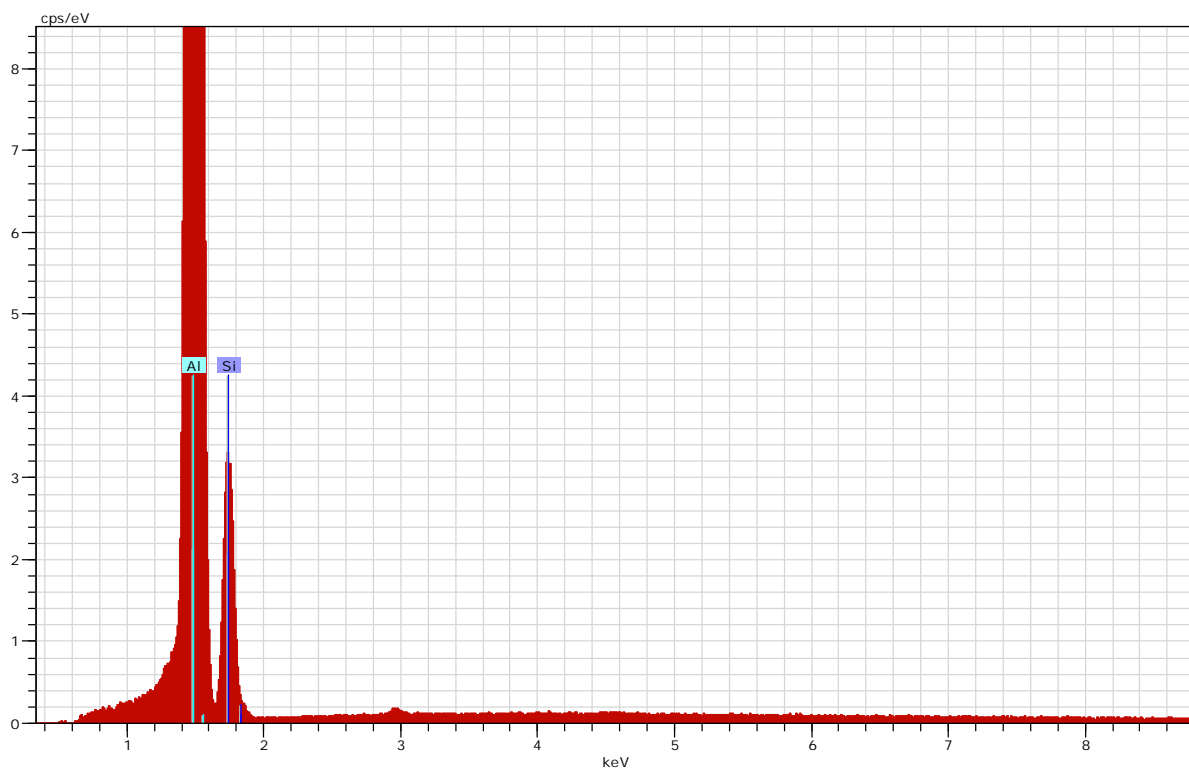
8.1 Chemická analýza

U hliníkového kola je základní materiál hliníková slitina, jelikož čistý hliník má malou pevnost v tahu a je špatně slévateľný, proto se na odlitky používá jen výjimečně.

Nejčastější přísadou je křemík. Slitina Al a asi 12% Si je tzv. silumin, která má vynikající slévateľnost, malou objemovou smršťivost, dobrou pevnost i houževnatost.

Pro zjištění chemického složení, byl použit rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130.

Na obr. 25 je záznam charakteristického spektra materiálového složení. Podíl jednotlivých složek chemického složení, tudíž jsem určil hliníkovou slitinu AlSi13 s dalšími legurami. Z této slitiny je vyrobeno zkoumané hliníkové kolo.



Spectrum: Acquisition

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al	13	K-series	90.70	88.39	88.91	4.6
Si	14	K-series	11.64	11.34	10.96	0.6
Fe	26	K-series	0.24	0.23	0.11	0.0
Ti	22	K-series	0.04	0.04	0.02	0.0
Total:			102.62	100.00	100.00	

Obr. 25 Charakteristické spektrum

8.2 Metalografická analýza

Pro přímé laboratorní hodnocení licí jakosti hliníkového kola byla provedena metalografie. Metalografie je nauka, která pojednává o vnitřní stavbě kovů a slitin. Jejím cílem je zviditelnění struktury materiálu a následné studium pomocí optického či elektronového mikroskopu.

Kovy a jejich slitiny jsou materiály neprůhledné a k jejich zkoumání používáme optické mikroskopy v režimu odrazu. Nejvyšší odrazivost mají plochy dokonale rovné a hladké. Naším cílem bude připravit vzorek právě s takovou plochou.

Pomocí optická mikroskopie se zjišťuje základní informace o povrchu vzorku. Umožňuje nalézt praskliny, korozi nebo jiné poškození.

8.3 Příprava vzorků pro metalografickou analýzu

Na obr. 26 je vyobrazeno hliníkové kolo. U hliníkového kola nás zajímají vzorky z paprsků kola. Vady u odlitků se koncentrují do oblastí s největším průřezem, kde tavenina tuhne nejdéle. Proto odběr vzorků bude z těchto míst obr 27. A také abych mohl vytvořit typové vzorky pro příslušné testovací zařízení pro statické a dynamické zatěžování. Od způsobu odběru vzorků se bude vycházet pro další šetření a posuzování.

Před vlastním odběrem vzorků muselo dojít k označení míst odběru obr. 26.



Obr. 26 Zkoumané hliníkové kolo s označením míst odběru vzorku

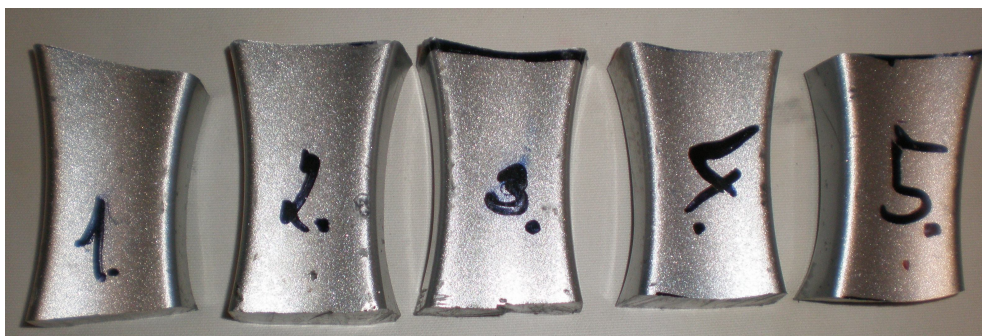
Odběr vzorku jsem provedl pomocí přímočaré pily značky Black & Decker obr. 27.



Obr. 27 Odebrané vzorky z označených míst

Počet vzorků je pět obr. 28. Vzorky byly dále upraveny pomocí Mikronu 110 přesné pily určené pro experimentální účely s vlastním chladicím systémem, který chrání řezanou plochu proti přehřátí materiálu.

Z vybraných kusů kol byly ořezány a vytvořeny vodorovné plochy na další pozorování obr. 29.



Obr. 28 Vzorky

Broušení se provádělo za mokra na automatickém zařízení MTX APX 10, kdy byly použity postupně brousící papíry o různé zrnitosti. Dokonalý výbrus se získá postupným broušením vzorku na stále jemnějších brusných papírech.

Na stejném automatickém stroji byly vzorky vyleštěny na leštících kotoučích s použitím diamantové pasty o zrnitosti 1 μm .

Leptání se provedlo ponořením vzorku do vybraného leptacího činidla dle základního materiálu o správné koncentraci a teplotě po určitou dobu. Pak jsou dobře zřetelné hranice jednotlivých zrn. Pro pozorování a zjišťování mikroskopických základních struktur.

8.4 Makroskopická analýza

Po vyleštění a naleptání byly všechny vzorky nafoceny. Makrosnímek dokumentuje základní materiál obr. 29. Z obr. jsou právě patrné vady základního materiálu, diskutované v předešlých kapitolách.



Obr. 29 Makrosnímek hliníkového vzorku

Slitiny hliníku mají velký sklon k oxidaci, která je u tlakového lití zvláště nebezpečná. Při vstřikování dochází k intenzivnímu styku mezi odlévanou slitinou a vzduchem.

Vzorek obsahuje následující dutiny:

- bubliny, obr. 32, které jsou kulaté, pravidelné a ve všech místech se nachází bez ohledu na tloušťku materiálu
- staženiny obr. 33, které kopírují hranice dendritů, spojitost s rychlostí ochlazování.

Staženiny

Staženiny vznikají v důsledku smršťování slitiny při tuhnutí. Toto smršťování je důsledkem rozdílu mezi měrným objemem kapalné a tuhé slitiny. Staženiny vznikají tak, že v určitém místě tuhnoucí slitiny dojde k uzavření určitého množství taveniny mezi již ztuhlými krystaly. Pokud tato tavenina ztuhne, objem poklesne a v materiálu se vytvoří dutina. Staženiny mohou být drobné (velikost srovnatelná s velikostí dendritů), pak se nazývají mikrostaženiny (řediny). Vznik staženin se často u odlitků koncentruje do oblastí tzv. tepelných uzlů, což jsou místa s největším průřezem, kde tavenina tuhne nejpozději. Mikrostaženiny bývají v odlitcích přítomny prakticky vždy a je třeba zajistit to, aby byly v odlitku rozptýleny co nejrovnoměrněji a aby jejich počet byl co nejnižší obr. 33 [13].

Segregace

Segregace je proces vzniku nerovnoměrného chemického složení ve výsledné struktuře látek při nerovnoměrném tuhnutí roztoků. Neprobíhá-li ochlazování difuzí až do rovnovážných podmínek, vzniká segregací v jedné fázi nerovnoměrné složení.

Segregace jsou v odlitcích nežádoucí, a proto se je snažíme odstranit nebo alespoň zredukovat na přijatelnou míru. Jedním z často používaných postupů je homogenizační žhání odlitku. Při zvýšené teplotě dojde k urychlení difúze, která vyrovná koncentrační gradienty v materiálu. Mikrosegregace lze tímto postupem odstranit prakticky úplně, u makrosegregací k úplnému odstranění, v některých případech nedojde [13].

Trhliny

Tvoření zárodků trhlin, obvykle začíná s praskáním křehkých složek. Trhliny rostou spojováním diskontinuit. Prázdná místa a trhliny se spojí a rostou velmi snadno. Jsou velmi nebezpečné [13]. V našem případě se trhliny nevyskytovaly.

8.5 Mikrostrukturní analýza

Mikrostrukturní analýza slouží zejména k získání poznatků o druhu a povaze mikrostruktury, tzn. o velikosti a tvaru zrn, druhu fází a strukturních součástí, způsobu jejich vyloučení.

Po vybroušení, vyleštění a naleptání výbrusu bylo provedeno mikroskopické pozorování struktury. Při pozorování jsem se zaměřil hlavně na hodnocení jednotlivých charakteristických znaků struktury, které mají vliv na vlastnosti slitiny.

Následující snímky ukazují příklady struktury slitiny.

Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické siluminy. Eutektikum v siluminech představuje směs tuhého roztoku α a krystalů téměř čistého křemíku. Eutektikum přítomné v poměrně velkém obsahu (40 až 75 hm.%) dává binárním siluminům nejen vysokou zabíhavost, ale také snižuje jejich lineární smrštění a sklon k tvorbě trhlin za tepla a sklon ke vzniku mikropórovitosti. Pro zvýšení mechanických vlastností se přidávají další legující prvky Mg, Ni, Mg.

Rozložení mikrostruktury v jednotlivých částech kola je znázorněna na obr. 30. Mikrostruktura hliníkového kola se skládá: z primární fáze, α -Al tuhého roztoku a z eutektické směsi hliníku a křemíku.

Jedná se o mikrostrukturu eutektického siluminu, kde je ve struktuře patrné eutektikum, tvořené jehlicemi Si + tuhým roztokem α , s patrnou mezidendritickou porezitou.

Rychlým ochlazováním tuhého roztoku α -Al dochází k rozpadu. V tuhém roztoku dochází k vylučování velmi jemných částic intermediálních precipitátů ve formě dendritů. Intermediální látková sloučeniny je Fe – precipitát a z vzniká sloučenina β – FeSi obr. 31.

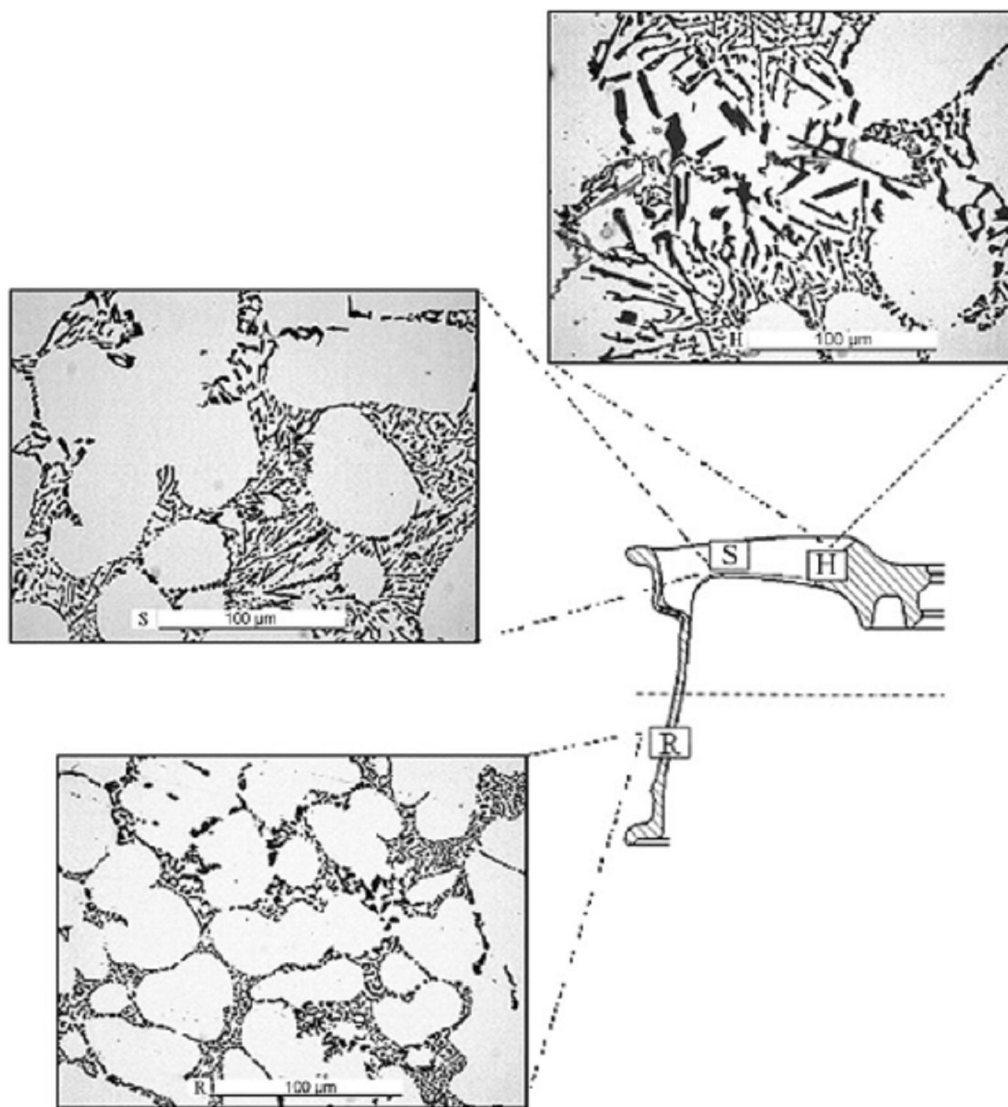
Eutektický křemík má typický tvar jehlic. Byla pozorována různá velikost a tvar v jednotlivých částech kola kvůli příměsi stroncia, který se přidává do roztaveného kovu pomocí odplyňovacího prostředku, složeného z dusíku a stroncia. Přidává se v malém množství 0,02 – 0,04 %, může být použit i fosfor do 0,01 %.

Další použitou příměsí je přísada AlTi5B1. Jde o přísadu obsahující titan a bór. Používá se na zjemnění zrna. Přidává se do roztaveného kovu.

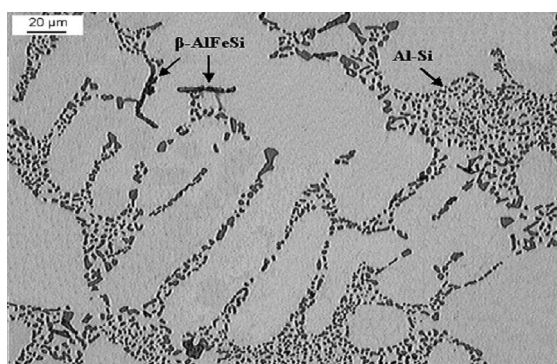
Průběh tvorby eutektika v siluminech má různý charakter. Jeho důsledkem je značný podíl hrubých a křehkých krystalů křemíku. Siluminy mají proto poměrně nízkou pevnost a tažnost ($R_m = 130 - 140$ MPa, $A = 1$ až 2%).

Pevnost a současně i tvárnost siluminů lze zvýšit zjemněním krystalů křemíku v eutektiku. Modifikací malým množstvím alkalických kovů (sodíku, lithia, stroncia) [14].

Fotodokumentace mikroskopických struktur, byla provedena na rastrovacím elektronovém mikroskopu VEGA TS 5130. Byly vytvořeny snímky při jednotlivých zvětšeních. Příklady mikrostrukturních defektů jsou ukázané na obr. 32, 33 a 34



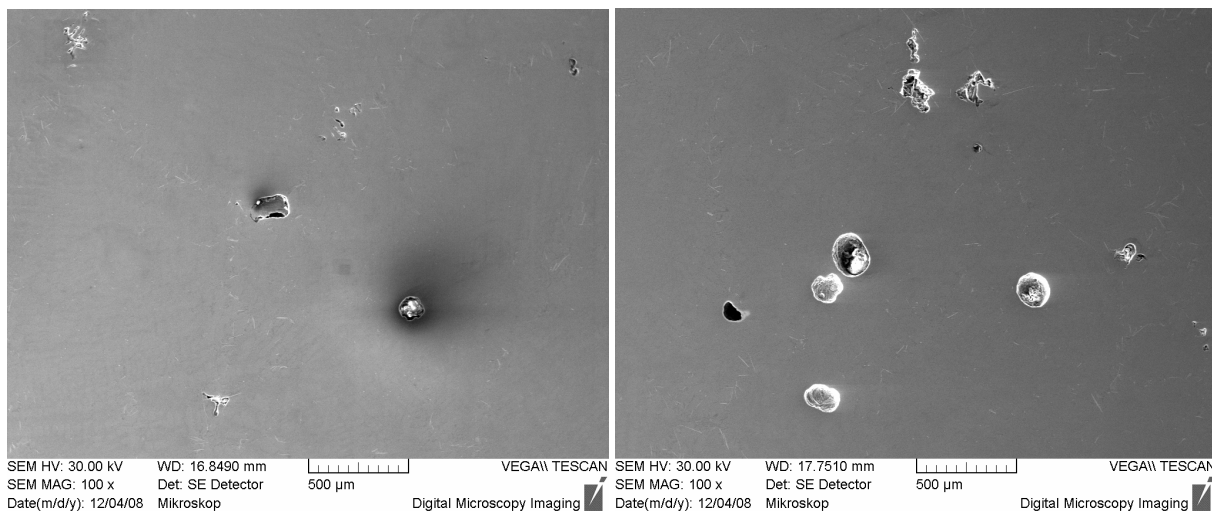
Obr. 30 Celková mikrostruktura hliníkového kola: střed (H), paprsky kola (S) a ráfek (R) [14]



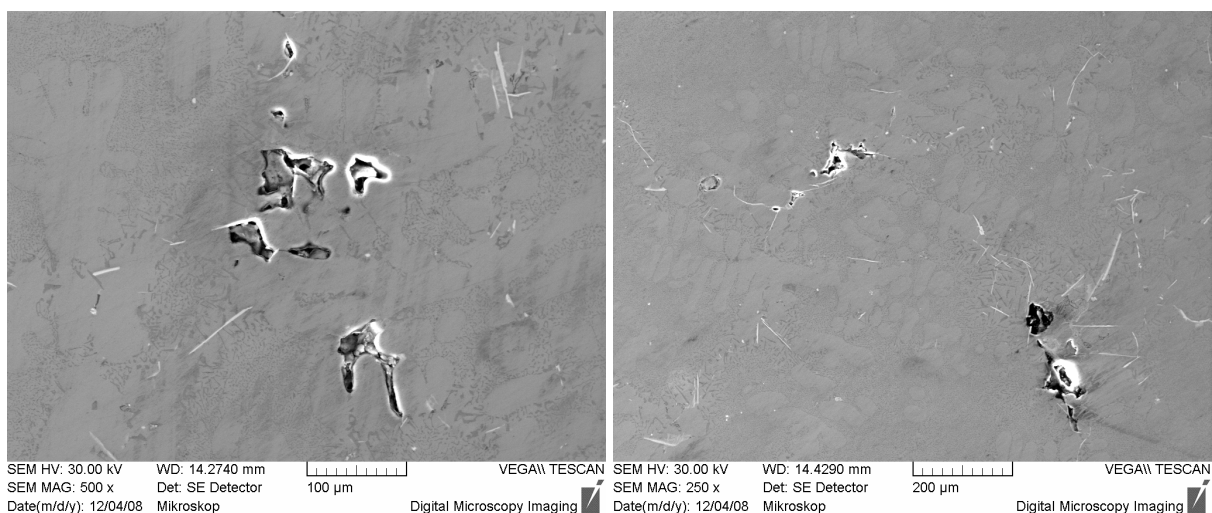
Obr. 31 Chemické složení a jednotlivých složek [14]

8.6 Elektronová mikroskopie

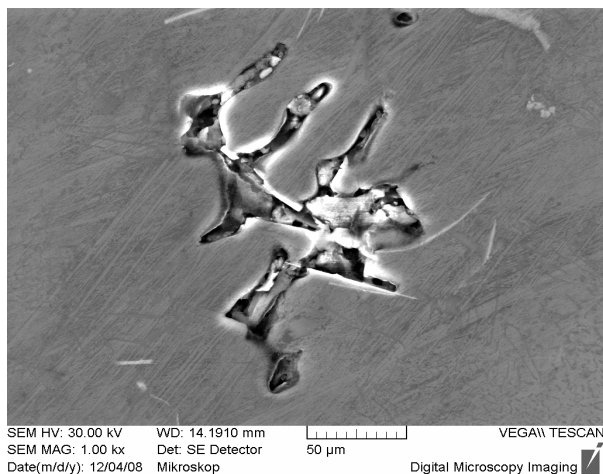
Použitím rastrovacího elektronového mikroskopu VEGA TS 5130 je pro znázornění a zviditelnění výše popsaných vad, které se vyskytují v pozorovaném hliníkovém materiálu.



Obr. 32 Vady základního materiálu – bubliny 500 µm



Obr. 33 Vady základního materiálu – mikrostaženiny 100 a 200 µm



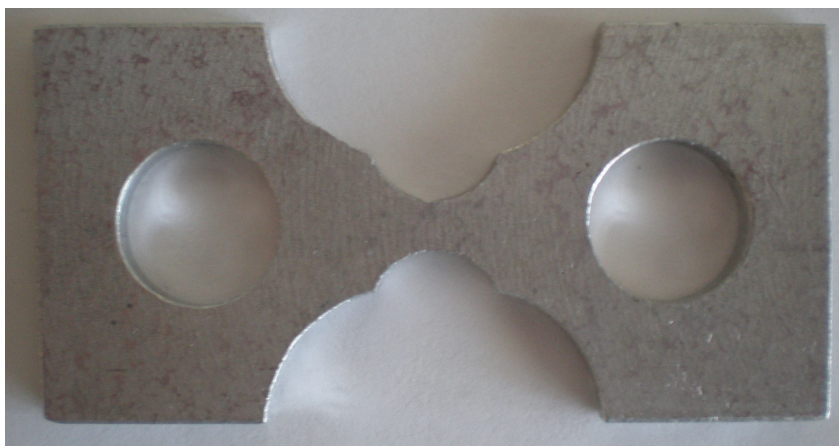
Obr. 34 Vady základního materiálu – mikrostaženina 50 µm

9 REALIZACE EXPERIMENTU

Vady odlitku mají škodlivý účinek na mechanické vlastnosti. Jejich výskyt nemusí být rovnoměrný přes celý objem základního materiálu. Následkem rozdílné tvorby vad a nejednotného rozmístění můžou být rozdílné mechanické vlastnosti. To můžeme vysvětlit jen správným a účinným testováním materiálu o jeho mechanických vlastnostech.

Z předešlých vzorků byly vytvořeny typové vzorky pro příslušné testovací zařízení pro statické a dynamické zatěžování. Zkušební vzorky z hliníkové slitiny jsou určeny pro rázovou zkoušku tahem a pro trhací zkoušku tahem. Provedením tahových zkoušek se získají výsledné hodnoty, které se dají porovnat. Porovnání bude podle tažnosti a rychlosti zatěžování.

Všechny vzorky jsou rozměrově stejné obr. 35. Zkušební vzorek má tvar obdélníku. Průřez v nejmenší části je obdélníkový 3x4 mm. Výsledný průřez je 12 mm².



Obr. 35 Typový vzorek na zkoušky

Statická zkouška tahem je jedna ze základních statických zkoušek za stálé síly nebo pomalu spojitě se měnící síly. Při této zkoušce vzniká ve zkušebním tělese jednoosá rovnoměrná tahová napjatost [15].

Pro stanovení tahových vlastností hliníkové slitiny bylo použito trhací zařízení s vlastním zaznamenávacím programem. Zkušební těleso bylo vloženo do čelistí nástroje tak, aby podélná osa zkušebního tělesa byla shodná s osou stroje. Vzorky se zatěžují standardní rychlostí až do okamžiku jejich porušení. Zkouška se provádí za teploty okolí.

Všechny trhací zkoušky byly provedeny v Materiálových laboratořích Dopravní fakulta Jana Pernera v Pardubicích.

Zkouškou zjišťujeme čtyři mechanické vlastnosti:

- mez kluzu v tahu
- mez pevnosti v tahu
- tažnost
- kontrakci

Vzorky 1 až 3 byly testovány pomocí rázové tahové zkoušky na dynamickém zkušebním stroji, který byl v kap. 7 popsán. Výsledky z rázové zkoušky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Naměřené hodnoty z dynamické zkoušky tahem

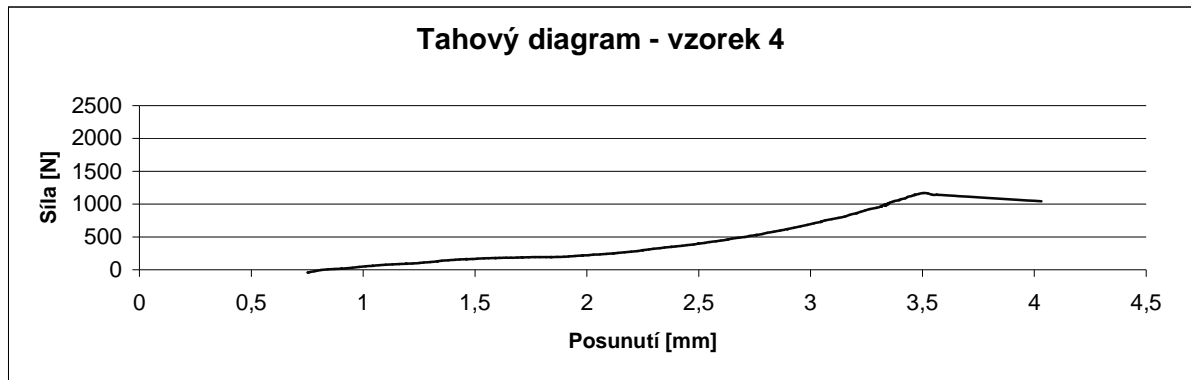
Vzorky	Délka vzorku l_0 [mm]	Úhel β [°]	Nárazová práce K [J]	Aritmetický průměr K
1(4)	60	85	31,8	30,6
2(2)	59,8	91	28,7	
3(zk)	67,1	86	31,3	

Z výsledných hodnot jde vidět minimální rozptyl, mezi jednotlivými vzorkami. Největší nárazovou práci má vzorek 1 31,8 J a nejmenší je u vzorku 2 28,7 J. Rozdíl mezi hodnotami je 3,1 J, což je skoro zanedbatelné.

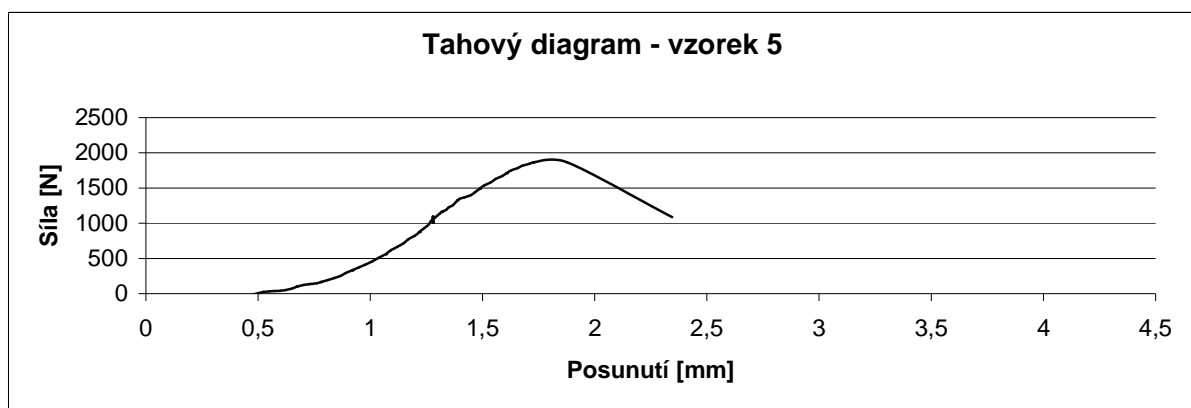
Zbylé vzorky 4 až 6 byly testovány pomocí statického zařízení, tzv. na trhacím stroji. Výsledky z tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce 3. Všechny tahové zkoušky proběhly podle normy a došlo k přerušení vzorku (lomu). Z naměřených hodnot byly sestrojeny grafy pro hodnocení materiálu zkouškou tahem Graf 1 -3.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty ze statické zkoušky tahem

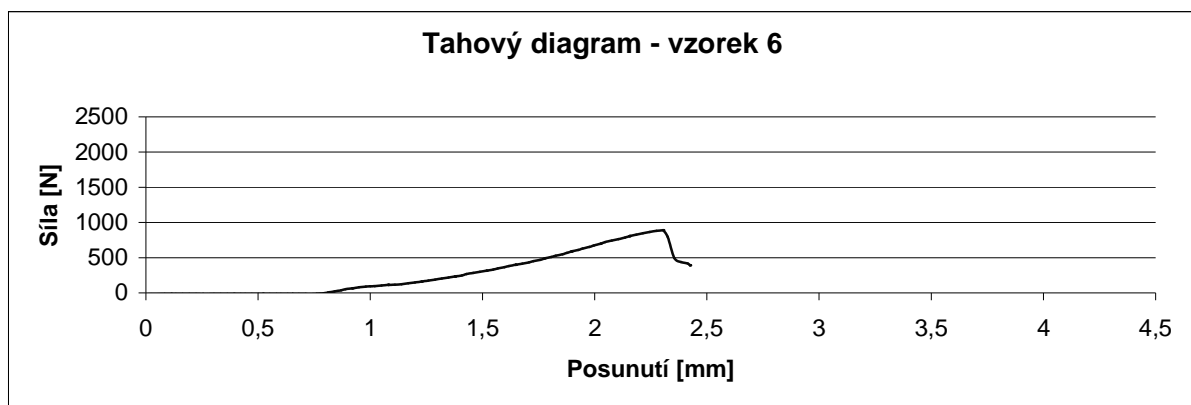
Vzorky	Délka vzorku l_0 [mm]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Maximální síla F_m [N]	Aritmetický průměr R_m
4(1)	59,8	104	1248	112,92
5(3)	59,9	158,83	1906	
6(zk)	67,1	75,92	911	



Graf 1 Průběh tahové zkoušky u vzorku 4



Graf 2 Průběh tahové zkoušky u vzorku 5



Graf 3 Průběh tahové zkoušky u vzorku 6

Z výsledných hodnot jde vidět velký rozptyl, mezi jednotlivými vzorkami. Největší mez pevnosti má 5. vzorek 158,83 MPa a nejmenší 6. vzorek 75,92 MPa. Rozdíl je právě poloviční. Takový markantní rozdíl má za následek účinek vnitřních vad: bubliny, staženiny, vměstky, vnitřní prnutí a další technologické vady, např. nevhodný tvar.

9.1 Hodnocení podle tažnosti

Tažnost materiálu závisí na přísadách k základnímu materiálu, nebo-li na legurách. Také na velikosti a morfologii křemíkových složek. Nejvyšší tažnost u vzorků může být přisuzován nižšímu množství tvrdících přísad.

Stroncium modifikuje velikost a tvar křemíkové složky, a též zvyšuje objemový podíl plasticity matrice hliníku.

Tabulka 4 Výsledné hodnoty tažnosti

Vzorky	Délka vzorku l_0 [mm]	Délka vzorku po přetržení l_u [mm]	Tažnost [%]
1(4)	60	60,3	0,50
2(2)	59,8	61	0,50
3(zkuš	67,1	67,4	0,45
4(1)	59,8	60	0,33
5(3)	59,9	61,3	0,66
6zk	67,1	67,5	0,30

Hodnoty tažnosti slouží k přibližnému posouzení houževnatosti a tvárnosti materiálu tabulka 4. Tažnost z hodnot dynamické rázové zkoušky a ze zkoušky tahem je v rozmezí 0,3 – 0,6 %. Podle tabulkových hodnot hliníkových slitin se tažnost pohybuje kolem 1 až 2%. Jde vidět, že deformace vzorku přechází okamžitě do plastické části.

9.2 Hodnocení podle rychlosti zatěžování

Rychlost zatěžování má rovněž vliv na výsledné měření pevnosti v tahu a tažnosti a to zásadním způsobem. Čím rychleji budeme materiál deformovat, tím větší je podíl elastické deformace. S rostoucí rychlostí roste pevnost a klesá tažnost.

U zkoušky tahem se zatěžující síla zvětšuje pomalu, rovnoměrně a plynule. Materiál klade při zatěžování odpor, který vyjadřujeme napětím. Velikost napětí ve zkoumaném tělese vyjadřuje jeho odpor proti deformaci a tím posuzujeme kvalitu materiálu.

Dynamické zkoušky se vyznačují rychlým zatěžováním, které se mění buď skokem – rázem nebo se opakují v určitých cyklech.

Dynamické zkoušky rázové probíhají při tzv. středních rychlostech zatěžování. Zatížení proběhne jednorázově do lomu tělesa rychlostí několik m/s.

Dynamické zkoušky provádíme proto, že ve stavbě strojů neexistuje zatížení součástí bez působení dynamických sil.

Rychlost rázové zkoušky tahem je 3,84 m/s a u statické zkoušky tahem je rychlost zatěžování 20 mm/min. Převedeme-li rychlosti na stejné jednotky dostaneme tabulce 5

Tabulka 5 Porovnání rychlostí

	m/s	km/h
Rázová zkouška tahem	3,84	13,84
Statické zkoušky tahem	0,00033	0,001188

9.3 Hodnocení podle lomových ploch

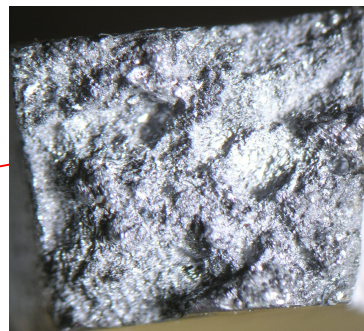
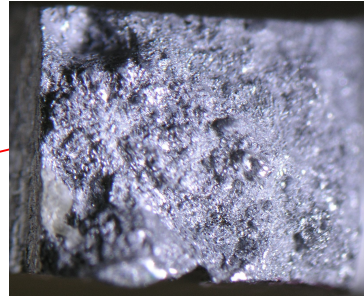
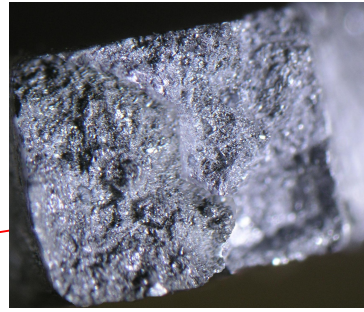
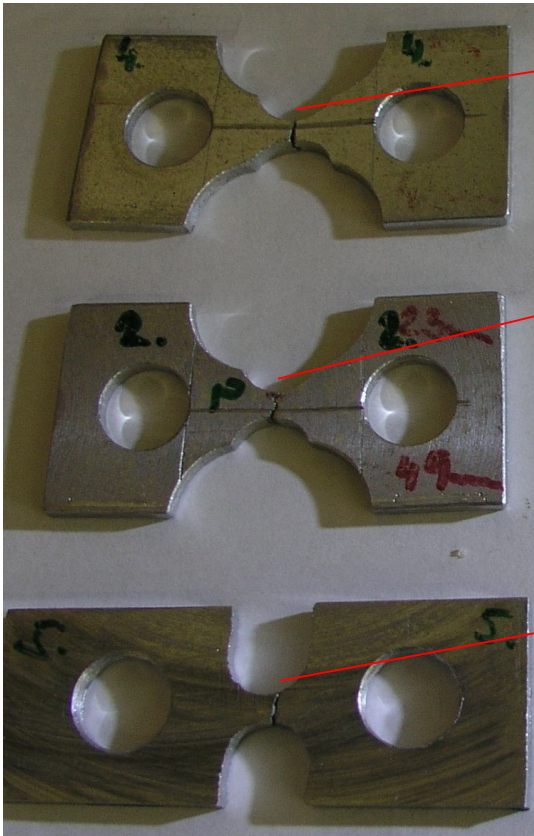
Lom je důsledkem porušení meziatomárních vazeb a projevuje se poškozením celistvostí součástí. Existují dva mechanismy poškození, jednak skluzem, t. j. skluzovým mechanismem, účinkem tangenciálního napětí, tzv. houževnatý (tvárný) lom, anebo štěpením, t. j. odtrhnutím dvou vrstev atomů v krystalu vlivem normálových napětí, tzv. křehký lom. Kromě rozdílné podstaty se odlišují od sebe i velikostí plastické deformace, která je provází a energií, která se na ně spotřebuje. Každý z mechanismů porušování vytváří specifický charakter lomové plochy s rozdílnou morfologií lomových plošek, tzv. faset.

Lomovou plochu tělesa tvoří soubor faset, kterých charakter závisí od aktivity určitého mechanismu porušování. Studium lomů se zabývá fraktografie a jeho rozbořem lze získat informace o příčinách jeho vzniku [16].

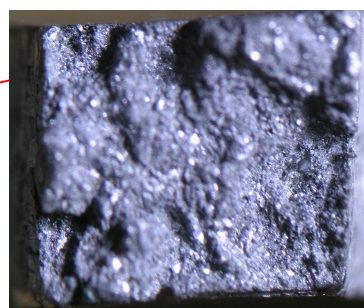
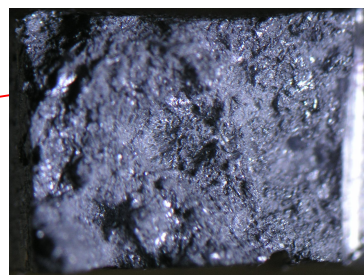
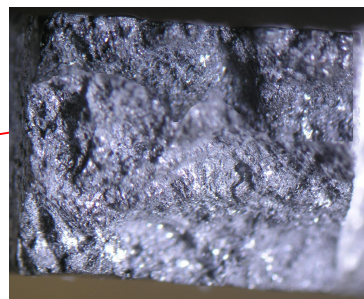
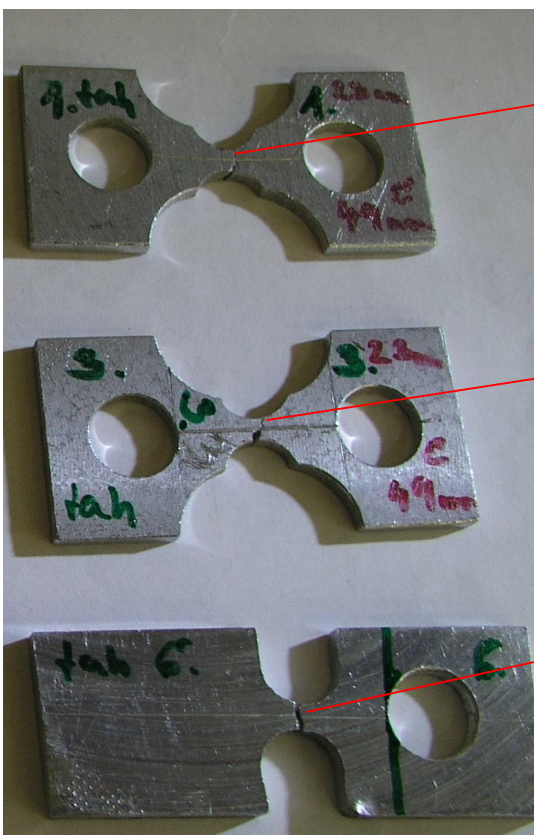
9.4 Makrofraktografie lomových ploch

Makroskopickým pozorováním stanovíme rozsah makroplastické deformace a průběh lomové plochy. S možnou existencí makroskopických vad se závislostí na iniciaci lomu.

Makroskopické lomové plochy jednotlivých vzorků 1 – 6 jsou na obr. 36 a 37. Jednotlivé lomové plochy nemají jasnou a přesnou vypovídací hodnotu, proto je nutné provést mikrofraktografii lomových ploch.



Obr. 36 Lomové plochy z dynamické zkoušky rázové



Obr. 37 Lomové plochy ze statické zkoušky tahem

9.1 Mikrofraktografie lomových ploch

Křehký lom

Z faktografického hlediska je typickým představitelem křehkého lomu štepný transkrystalický lom, který probíhá především porušováním meziatomových vazeb podél určitých krystalografických rovin. Lom jednotlivých zrn v polykrystalickém materiálu je téměř rovinný a relativně hladký. Poněvadž sousední zrna mají odlišnou krystalografickou orientaci, liší se i orientace štěpných faset v jednotlivých zrnech. Při přechodu trhliny z jednoho zrna do druhého dochází na jejich hranici k reiniciaci, která se na lomové ploše projeví, tzv. říčkováním. Ploché fasety, odpovídají jednotlivým štěpně porušeným zrnům. Dodávají lomu z makroskopického hlediska jasný, lesklý vzhled.

Křehký lom může být i interkrystalický, při kterém trhlina sleduje hranice zrn.

Vznik křehkého lomu podporují nehomogenity, hrubé zrna, vměstky, vady, nízká teplota a velká rychlost zatěžování [17].

Tvárný lom

Houževnatý (tvárný) lom vzniká působením mechanismů nukleace, růstu a propojování mikroporuch, vznikajících na částicích sekundárních fází na inkluzích a precipitátech, obsažených v základní matici. Deformační charakteristiky jsou odlišné od deformačních charakteristik okolní matrice. Dojde-li v okolí částic precipitátu k výraznému toku materiálu matrice, částice ztrácejí koherenci s maticí nebo praskají. Důsledkem je vytváření mikroporuch materiálu, které postupně rostou. Jednotlivé poruchy se propojují a dochází k závěrečnému, makroskopicky pozorovatelnému lomu tělesa. Lomová plocha je matná.

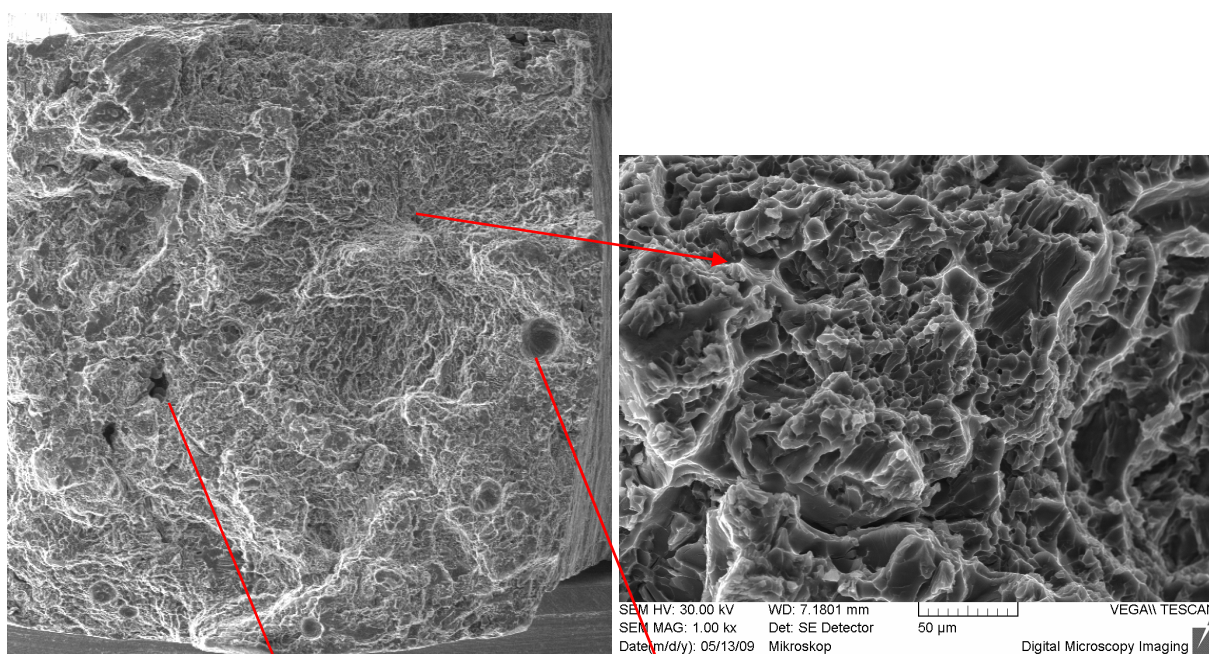
Při mikroskopickém pozorování zjišťujeme, že lomová plocha je tvořena tzv. tvárnými důlky, které vznikly propojením mikroporuch, působením na jednotlivých částicích sekundárních fází. Rozeznáváme tvárný lom transkrystalický a interkrystalický. Narozdíl od štěpení tvárný lom může nastat bez významné plastické deformace.

Ze způsobu namáhání, resp. porušování předpokládáme tahový mód („tensile mode“), který je charakterizován vnější silou působící kolmo na rovinu lomu. Růst trhliny je řízen tahovou složkou tenzoru napětí. Z hlediska běžné technické praxe je nejdůležitější tahový mód [17].

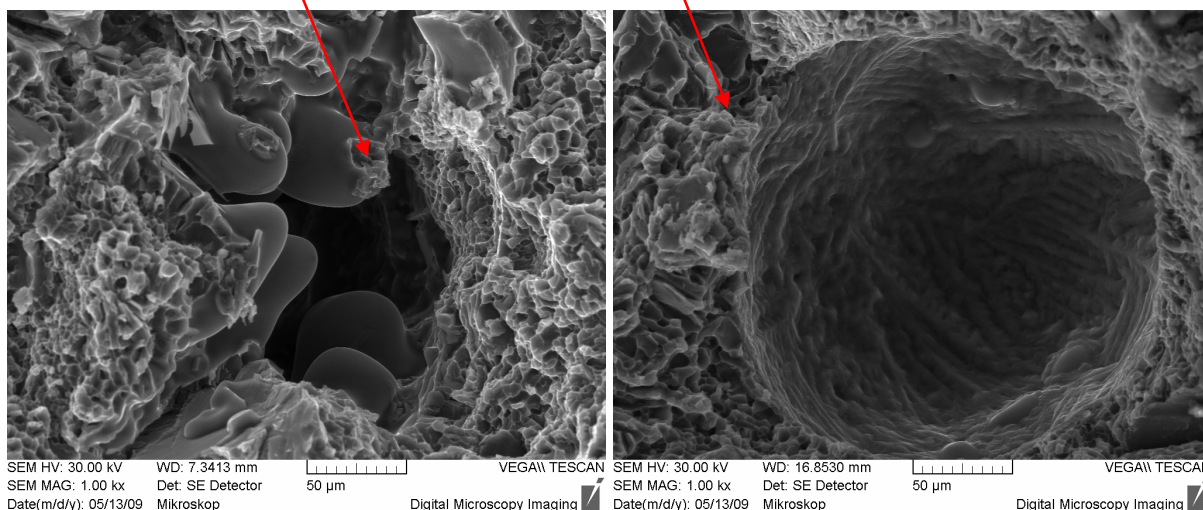
9.2 Fraktografie lomových ploch po experimentálním zatěžování

Šetření mikromechanismů porušování bylo provedeno z důvodu rozdílné výsledné hodnoty u vzorků 2, který byl testován dynamicky a dalšími vzorkami 5 a 6, jenž byly zatěžovány staticky a zjistili důvod rozptylu hodnot.

Obr. 38 znázorňuje makrofraktografický snímek vzorku 6, na kterém jsou patrné bubliny a staženiny. Část plochy je i podle standardního lomového chování, t. j. morfologii lomové plochy bez vlivu vnitřních vad.



Obr. 38 Makrofraktograf. a mikrofraktografický snímek lomové plochy se smíšeným lomem



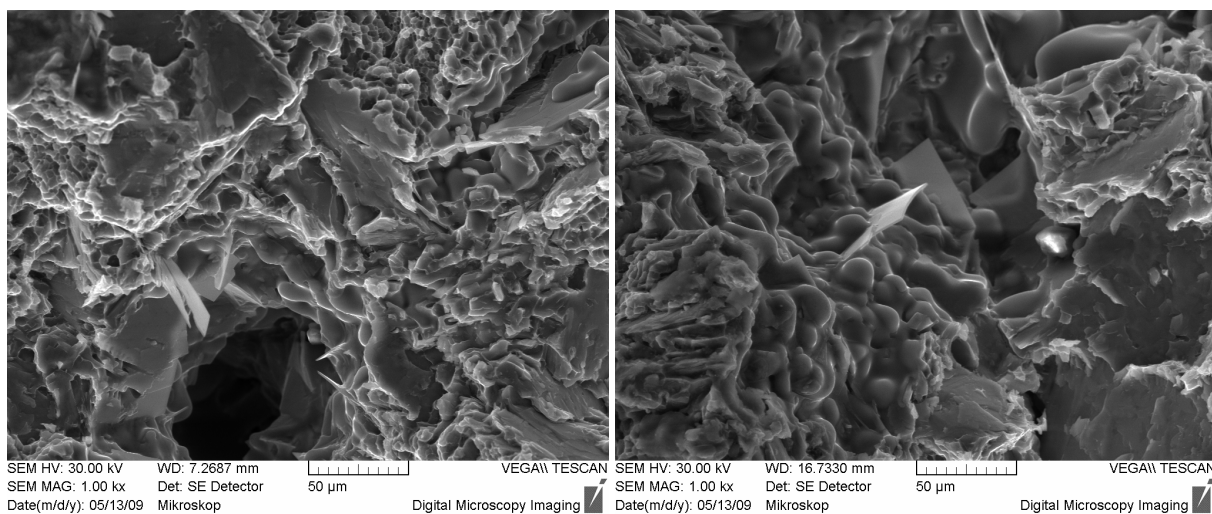
Obr. 39 Vady na lomové ploše: a) staženina

b) bublina 50 µm

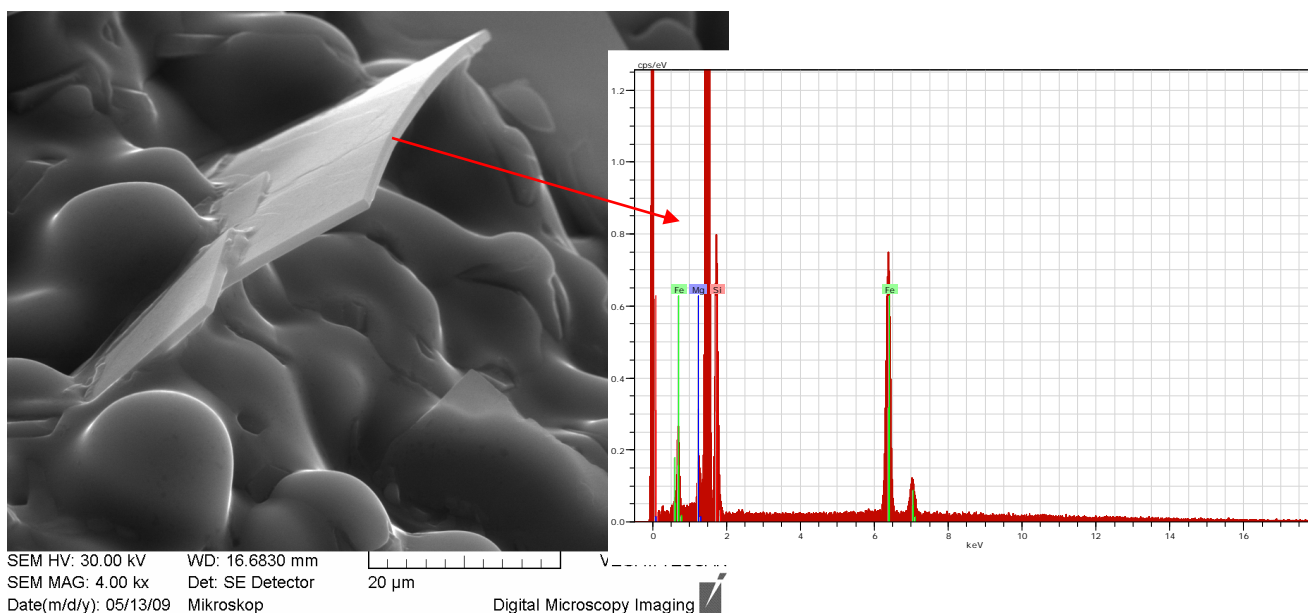
Snímky prezentují charakteristickou morfologii lomové plochy, kde se nachází tvrný a křehký lom s výskytem sekundární části. Byla zjištěna lokální ztráta plasticity, transkrystalický lom. U licí vady u mikrostaženiny obr. 39 a) byla zjištěna iniciace sekundární fáze s výskytem zárodek mikrotrhliny, bez podstatného rozvoje. U bublin obr. 39 b) nebyly zjištěny sekundární iniciace, popř. změna módu lomu. jejich vliv na pevnostní charakteristiky má tedy vliv úměrný pouze plošnému podílu na lomové ploše.

Na obr. 40 je sekundární štěpení. Vznik sekundárního štěpení bylo zjištěno v souvislosti s výskytem křehké fáze na bázi křemíku a hořčíku při chladnutí slitiny hliníku. Fáze má jemnou deskovitou morfologii.

Po celkovém zhodnocení byl zjištěn větší podíl křehkého lomu.



Obr. 40 Mikrostaženina se sekundárním štěpením a sekundární fáze 50 μm

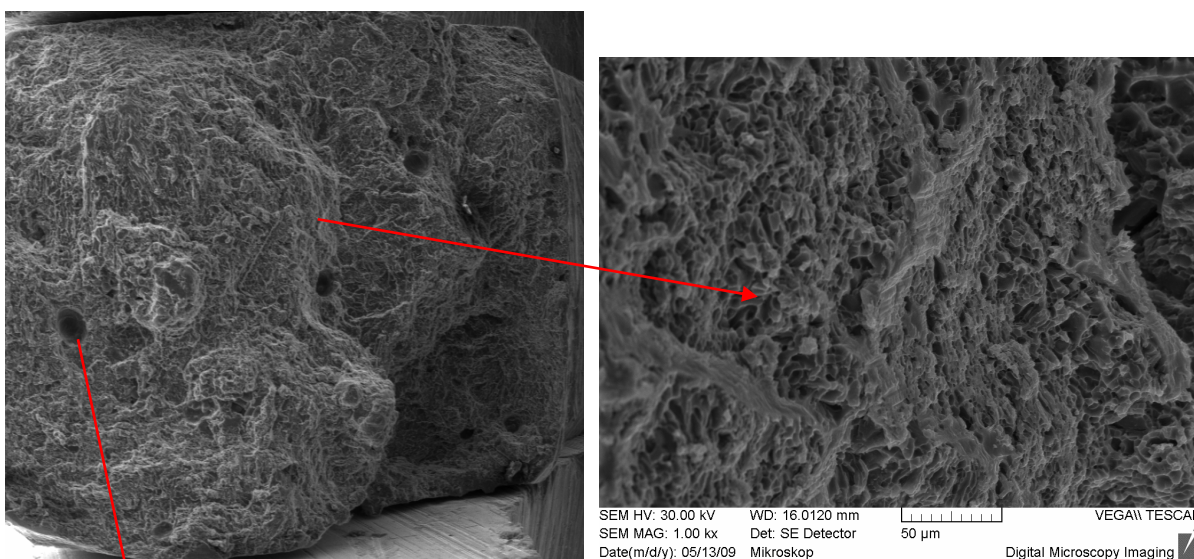


Obr. 41 Detail sekundární fáze ve formě desky 20 μm

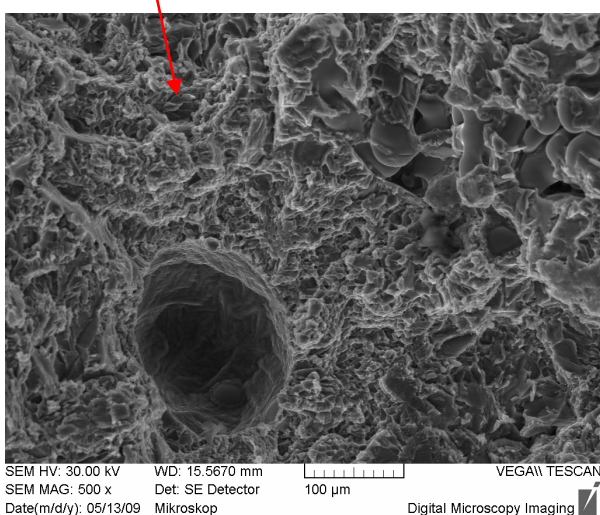
Mikrofraktografické prozkoumání vzorku 5 obr 42 a obr. 43.

Zjištěna byla členitá plocha, stupňovitý efekt lomu. Při vzniku lomu dochází k iniciaci v několika místech-oblastech výskytu vad, a v určité mezní hodnotě dojde k jejich propojení. Značný výskyt tranzitního lomu souvisí se strukturální charakteristikou. Částečně proběhl houževnatý lom, v okolí staženiny preferenčně křehký lom, tzv. štěpné okolí.

Staženiny mají dle pozorování na pevnostní charakteristiku horší vliv než bubliny obr. 43.



Obr. 42 Makrofraktografický a mikrofraktografický snímek lomové plochy se stříhovým můstkem propojujícím jednotlivé stupně lomové plochy

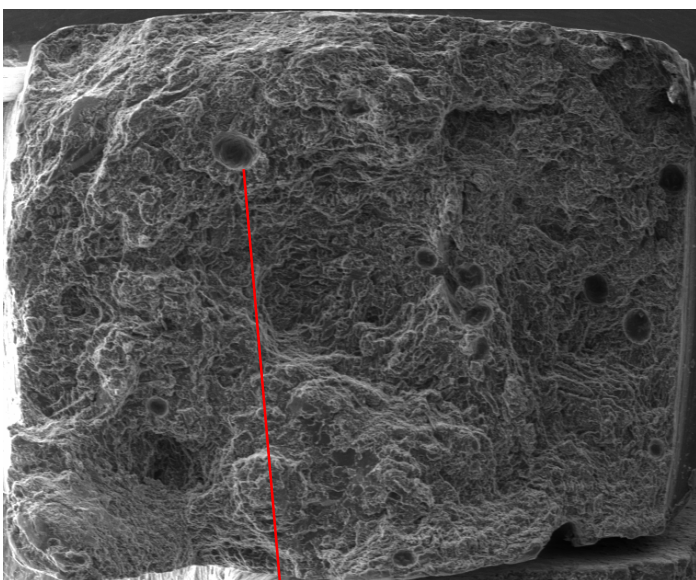


Obr. 43 Vady na lomové ploše: staženina a bublina 100 μm

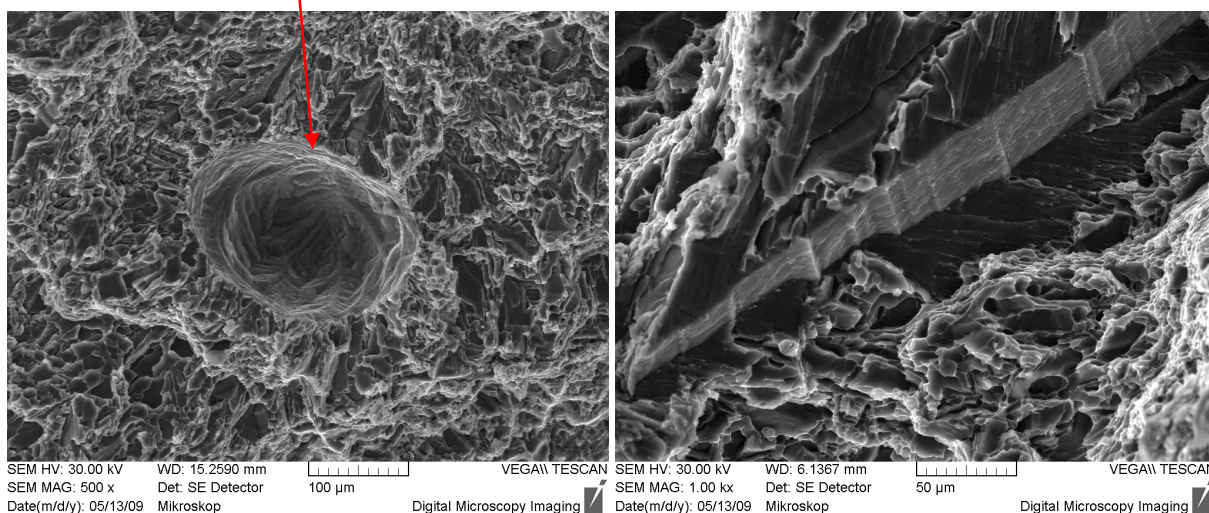
Vzorek 2 byl testován dynamickou rázovou zkouškou. Naměřená hodnota byla ze všech testovaných vzorků nejmenší.

Výskyt smíšeného lomu – křehkého i houževnatého se změnou módu lomu a rychlostí zatěžování. Z obr. 44 a 45 jsou patrné stejné vady jako v předešlých vzorcích. Výskyt jedné odlišnosti je, že kolem bublin je výskyt určitého zkřehnutí, což napomáhá křehkému lomu, a tím zeslabení plošného obsahu materiálu.

I tady křehký lom převládá.



Obr. 44 Makrofraktografický snímek vzorku lomové plochy



Obr. 45 Křehký lom u bubliny a krystalografická orientace štěpení 100 µm

10 SHRNU TÍ POZNATKŮ

Vady v odlitku mohou přinést značné snížení mechanických vlastností, a tím zkrácení životnosti. Jsou i jedním ze závažných důvodů vedoucím k trhlinám. Velikost a pozice jednotlivých vad jsou důležitými faktory ovlivňující silové zatížení výrobku.

Jejich výskyt nemusí být rovnoměrný přes celý objem základního materiálu, následkem rozdílných tvoreb vad a nejednotného rozmístění můžou být rozdílné mechanické vlastnosti. To můžeme vysvětlit jen správným a účinným testováním materiálu.

Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny zjišťované zkouškou tahem závisí na mikrostruktuře, tvaru zkušební tělesa, rychlosti zatěžování a dalších podmínkách zkoušení. Zkušební těleso je protahováno ve směru své hlavní osy konstantní rychlostí zkoušení do jeho porušení. Během zkoušky se měří zatížení (síla) působící na zkušební těleso a prodloužení.

Zkouška rázem je vhodná metoda k hodnocení parametrů procesu mikrostruktury na dynamické lomové houževnatosti materiálů nebo-li na nárazové práci. Nárazové vlastnosti jsou silně ovlivňovány přítomnostmi defektů a rychlostí deformace.

Pevnost s rostoucím obsahem legujících prvků roste. Slévárenské slitiny mají větší celkový obsah prvků a nižší mez pevnosti, což je způsobeno tím, že litá struktura je nehomogenní z hlediska chemického složení (makro a mikroskopicky) a je pórovitá. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými slitinami v úrovni a velikosti rozptylu pevnosti je dána různou povahou zpevnění.

Nejúčinnějšího zpevnění se dosahuje u hliníkové slitiny precipitačním zpevněním při tepelném zpracování, které se skládá z rozpouštěcího žíhání, ochlazení a přirozeného nebo umělého stárnutí.

Lomový proces je úzce spojen s lokálním výskytem vysokých koncentrací napětí a deformací. Při studiu zákonitostí vzniku a šíření lomu se do jisté míry vycházelo z poznatků, získaných při analýze v okolí vrubů. Pod obecným pojmem „vrub“ zahrnujeme jak vruby konstrukční, dané tvarovými neboli geometrickými změnami, tak i vruby resp. defekty technologické, způsobené heterogenitou použitého materiálu.

S rostoucím vrubovým účinkem se mění tvar pracovního diagramu zkoušky tahem, zvětšuje se mez kluzu i pevnost a zmenšuje se tažnost. Ke křehkému porušení bez větší plastické deformace přispívá i účinek vnitřních vad (vměstky, technologické vady), nevhodný tvar, náhle změny zatížení, nízké pracovní teploty, teplotní gradienty a další činitele.

V rámci provedeného experimentálního šetření byly získány poznatky:

- výskyt přechodného lomu materiálu v tranzitní oblasti, což je dané strukturou a vnitřními vruby
- vliv koncentrátorů napětí na lokální změny chování v rámci provedených zkoušek byl reálně pozorován
- potvrzen vliv vnitřních vad na lomové chování
- při větší rychlosti deformace se projevil větší podíl křehkého lomu
- z výše uvedeného vychází kvalitativní hodnocení z daného počtu vzorků, které je omezeno právě počtem vzorků
- potřebný korelační faktor – kvůli velkému rozptylu hodnot vzorků na citlivosti vnitřních vad
- heterogenita materiálu – zárodky sekundární fáze a s tím spojené sekundární štěpení
- mikrostaženiny jsou nebezpečnější než bubliny, jelikož jsou intenzivnějším vrubovým účinkem a potenciálními začátky vzniku mikrotrhlin

Tím byla ověřena platnost daných kritérií. Pro další posouzení byl bylo potřeba provést další šetření a vyhodnocení týkající se vlivu licí jakosti pro daný typ hliníkové slitiny. Vznik charakterizovaných vnitřních vad se liší od typu struktury základního materiálu, a jejich výrobní technologie.

V dané práci jsem se zaměřil jen na určitou část kol a to na paprsky kol. Vyhodnocení celkového vlivu vnitřní jakosti kola, by bylo nutné provést v závislosti na rozdílech rychlosti ochlazování, tj. na průřezu kol s dalším podrobným výzkumem.

ZÁVĚR

Jedním z cílů diplomové práce byl konstrukční návrh přestavby stroje, který provádí zkoušku rázem v ohybu na rázovou zkoušku tahem. V úvodu práce se zabývám technologií výroby litých disků kol ze slitin hliníku a charakteristickými licími vadami a metodami jejich odstranění. Rozebírám metody testování výrobních materiálů. Zaměřuji se na jejich popis a metody zkoušení. Dále je popsán návrh vlastního konstrukčního řešení přestavby stroje, který provádí zkoušku rázem v ohybu na rázovou zkoušku tahem. Rázová zkouška tahem je odvozena od zkoušky rázem v ohybu. Návrh je samozřejmě doplněn potřebnými výpočty a zároveň výkresy jednotlivých sestav. Grafické návrhy byly vytvořeny v programovém prostředí AutoCAD 2007 a Solid Edge V18.

Konstrukční návrh počítá s variabilitou obou metod, podle druhu a potřeby jednotlivé zkušební metody. Navrhl jsem další možnost využití testovacího zařízení. Můj návrh se jeví jako velice praktický a jednoduchý, protože odpadá složitá manipulace a instalace. Z provedené realizace vyplývá, že konstrukce je navržena správně a funkčně.

V experimentální části se hodnotí vzorky metalografické analýzy s použitím elektronové mikroskopie. Zvláštní důraz je kladen na rozmístění těchto defektů.

Dalším úkolem diplomové práce, bylo ověřit vliv rychlosti na dynamické chování s použitím navrhnutého modifikovaného experimentálního zařízení s určením kvantitativního efektu vad odlitku na rozdíl mezi statickým a dynamickým zatěžováním a jejich ovlivněním pevnostních charakteristik základního materiálu.

Byla provedena realizace experimentu s typovými vzorky z hliníkového disku kola pro příslušné testovací zařízení statického a dynamického zatěžování. Vyhodnocení bylo podle tažnosti, rychlosti zatěžování a lomových ploch.

Z metalografické analýzy a měření mechanických vlastností, vzešlo mnoho dílčích výsledků, které dohromady tvoří popis finálních vlastností užívaných při výrobě automobilových kol.

Pro komplexní posouzení daného materiálu by bylo potřeba provést velký počet experimentálních měření za předpokladu změn vnějších i vnitřních parametrů.

Zpracování tématu mi dalo možnost nahlédnout do nejmodernějších metod testování a zkoušení materiálů.

Udržení kvality je dnes klíčovou otázkou pro prodejnost a funkčnost všech technických výrobků a jejich dílčích částí.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] PILÁRIK M., PAST J.: *Automobily I.* vydání první, Informatorium Praha 2000, 160 s., ISBN 80-86073-63-7
- [2] PLŠEK B.: *Sportovní úpravy Škoda Felicia.* vydání první, Computer Press Praha 2002, 224 s., ISBN 80-7226-658-6
- [3] *Evo corse katalog* [online]. C2009, poslední revize 05.05.2007 [cit.2009-01-11]. Dostupné z: <http://www.mk-racing.cz/download/evo_corse-katalog.pdf>.
- [4] *Computer Simulation of Casting Process of Aluminum wheel* [online]. C2009, poslední revize 2004.09.14 [cit.2009-01-11]. Dostupné z: <[http://designer.mech.yzu.edu.tw/article/articles/conference/file/\(2004-09-14\)%20Computer%20Simulation%20of%20Casting%20Process%20of%20Aluminum%20Wheel.pdf](http://designer.mech.yzu.edu.tw/article/articles/conference/file/(2004-09-14)%20Computer%20Simulation%20of%20Casting%20Process%20of%20Aluminum%20Wheel.pdf)>.
- [5] *The Simulation of Magnesium Wheel Low Pressure Die Casting Based on PAM-CASTT* [online]. C2009, poslední revize 30.04.2006 [cit.2009-01-11]. Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/1k57g4140120128v/fulltext.pdf>>.
- [6] *Developing an automated design modification system for aluminum disk Wheel* [online]. C2009, poslední revize 03.05.2006 [cit.2009-01-11]. Dostupné z: <[http://designer.mech.yzu.edu.tw/article/articles/conference/file/\(2006-02-16\)%20Developing%20an%20automated%20design%20modification%20system%20for%20aluminum%20disk%20wheels.pdf](http://designer.mech.yzu.edu.tw/article/articles/conference/file/(2006-02-16)%20Developing%20an%20automated%20design%20modification%20system%20for%20aluminum%20disk%20wheels.pdf)>.
- [7] *State of the Art of Impact Tensile Test (ITT): Its Historical Development As a Simulated Crash Test of Industrial materials and presentation of new "ductile/brittle" transition diagrams* [online]. C2009, poslední revize 05.12.2008 [cit. 2009-02-24]. Dostupné z: <<https://commerce.metapress.com/content/m263232387q61204/resource-secured/?target=fulltext.pdf&sid=ljxacp2ujranrijd4bclr45&sh=www.springerlink.com>>.
- [8] ČSN EN 10045-1. *Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby).* Praha: Český normalizační institut, 1997. 11 s.
- [9] *Zkouška rázem v ohybu* [online]. C2009, poslední revize 03.03.2008 [cit. 2009-02-24]. Dostupné z: <<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/umvi/zk.raz.ohybu.pdf>>.
- [10] *Základní mechanické vlastnosti polymerů a jejich hodnocení* [online]. C2009, poslední revize 04.05.2009 [cit.2009-03-03]. Dostupné z: <http://www.kmt.tul.cz/sekce/doplanky/polymery-mech_vl.pdf>.

- [11] *Tensile Impact Test - ASTM D1822* [online]. C2009, poslední revize 04.05.2009 [cit.2009-03-03]. Dostupné z:<http://www.ptli.com/testlopedia/tests/tensile_impact-D1822.asp>.
- [12] *Tensile Impact - ISO 8256* [online]. C2009, poslední revize 04.05.2009 [cit.2009-03-03]. Dostupné z:<http://www.ides.com/property_descriptions/ISO8256.asp>.
- [13] Vojtěch D.: *Kovové materiály*. první vydání, VŠCHT Praha 2006, 140 s., ISBN 80 – 7080-600-1
- [14] *Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive Wheel* [online]. C2009, poslední revize 04.05.2009 [cit.2009-03-03]. Dostupné z:<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6TGJ-4S4TNVS-3-19&_cdi=5256&_user=640852&_orig=search&_coverDate=01%2F19%2F2009&_sk=997909997&view=c&wchp=dGLbVIW-zSkWA&md5=53a987dbc4c007bb91af1b6e59ef50fb&ie=/sdarticle.pdf>.
- [15] ČSN EN 10002-1. *Kovové materiály - Zkouška tahem – Část 1: Zkouška tahem za okolní teploty*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 25 s.
- [16] Puškár A.: *Mikroplastickosť a porušeni kovových materialov*. první vydání, Veda Bratislava, 1986, 300 s., ISBN 71-030-86.
- [17] KUNZ J.: *Základy lomové mechaniky*. první vydání, ČVUT Praha 1996, 172 s., ISBN 80-01-00579-8.
- [18] TOMANOVIČ J.: *Slitiny hliníku v konstrukci kol a jejich provozní chování*. Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, 2007.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hliníková kola: a) pětipaprsková b) dvanáctipaprsková.....	10
Obr. 2 Nízkotlaký způsob litý hliníkového kola.....	11
Obr. 3 Licí forma pro výrobu hliníkového disku kola.....	12
Obr. 4 Proces plnění.....	13
Obr. 5 Proces tuhnutí.....	14
Obr. 6 Váhová redukce díry na kole.....	16
Obr. 7 Pět návrhů změn používaných výrobcem kol.....	17
Obr. 8 Změna geometrie tvaru paprsků kola Typ A a Typ C.....	17
Obr. 9 První Charpyho kladivo: a) z roku 1910, b) s V – vrubem s kapacitou 300 J z roku 1920.....	20
Obr. 10 Znázornění Charpyho kladiva: a) schématické, b) skutečné.....	21
Obr. 11 Princip měření nárazové práce na Charpyho kyvadlovém kladivu.....	22
Obr. 12 Beran vychýlen: a) o úhel α , b) o úhel β	23
Obr. 13 Skutečná zkušební tyč s V a U - vrubem.....	24
Obr. 14 Schématické znázornění zkušebních tyčí s V a U – vrubem.....	25
Obr. 15 Přejížděcí teplota.....	26
Obr. 16 Rázový tahový stroj (1970) s rozděleným kyvadlem o kapacitě 300 J.....	27
Obr. 17 Testovací zařízení z roku 1995 lišící se geometrií vzorku a jeho použitím: b) svařovaný vzorek s vrubem, c) vzorek bez vrubu - svařovaný bodovým odporovým svařováním, d) válcovitý vzorek s vrubem po obvodu.....	28
Obr. 18 Testovací zařízení z roku 2003, s energetickou úrovní 750 - 800 J.....	28
Obr. 19 Schématický obrázek zařízení pro rázové zkoušky tahem a upínání zkušebních těles.....	29
Obr. 20 Funkce kladiva: a) před nárazem, b) po nárazu.....	30
Obr. 21 Typy vzorků pro rázovou zkoušku tahem.....	30
Obr. 22 Konstrukční návrh nosné podstavy.....	33
Obr. 23 Konstrukční návrh narážejícího kyvadla.....	34
Obr. 24 Reálná a funkční přestavba.....	35
Obr. 25 Charakteristické spektrum.....	37
Obr. 26 Zkoumané hliníkové kolo s naznačením míst odběru vzorku.....	38
Obr. 27 Odebrané vzorky z naznačených míst.....	38
Obr. 28 Vzorky.....	39
Obr. 29 Makrosnímek hliníkového vzorku.....	39
Obr. 30 Celková mikrostruktura hliníkového kola: střed (H), paprsky kola (S) a ráfek (R).....	42
Obr. 31 Chemické složení a jednotlivých složek.....	42
Obr. 32 Vady základního materiálu – bubliny 500 μm	43

Obr. 33 Vady základního materiálu – mikrostaženiny 100 a 200 μm	43
Obr. 34 Vady základního materiálu – mikrostaženina 50 μm	43
Obr. 35 Typový vzorek na zkoušky	44
Obr. 36 Lomové plochy z dynamické zkoušky rázové	49
Obr. 37 Lomové plochy ze statické zkoušky tahem	49
Obr. 38 Makrofraktografický a mikrofraktografický snímek lomové plochy se smíšeným lomem	51
Obr. 39 Vady na lomové ploše: a) staženina, b) bublina 50 μm	51
Obr. 40 Mikrostaženina se sekundárním štěpením a sekundární fáze 50 μm	52
Obr. 41 Detail sekundární fáze ve formě desky 20 μm	52
Obr. 42 Makrofraktografický a mikrofraktografický snímek lomové plochy se stříhovým můstkem propojujícím jednotlivé stupně lomové plochy	53
Obr. 43 Vady na lomové ploše: staženina a bublina 100 μm	53
Obr. 44 Makrofraktografický snímek vzorku lomové plochy	54
Obr. 45 Křehký lom u bubliny a krystalografická orientace štěpení 100 μm	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnávací hodnoty	35
Tabulka 2 Naměřené hodnoty z dynamické zkoušky tahem	45
Tabulka 3 Naměřené hodnoty ze statické zkoušky tahem	45
Tabulka 4 Výsledné hodnoty tažnosti	47
Tabulka 5 Porovnání rychlosti	48

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Průběh tahové zkoušky u vzorku 4	46
Graf 2 Průběh tahové zkoušky u vzorku 5	46
Graf 3 Průběh tahové zkoušky u vzorku 6	46

SEZNAM PŘÍLOH

Protokol o chemickém složení vzorku

1. výkres: SESTAVA PODSTAVY
2. výkres: SESTAVA KYVADLA
3. výrobní výkres: PODSTAVA 1
4. výrobní výkres: PODSTAVA 2
5. výrobní výkres: JEZDEC 3
6. výrobní výkres: VZOREK
7. výrobní výkres: TYČ PLOCHÁ 18X6
8. výrobní výkres: KYVADLO - VÝZTUŽ
9. výrobní výkres: KYVADLO

Protokol o chemickém složení vzorku

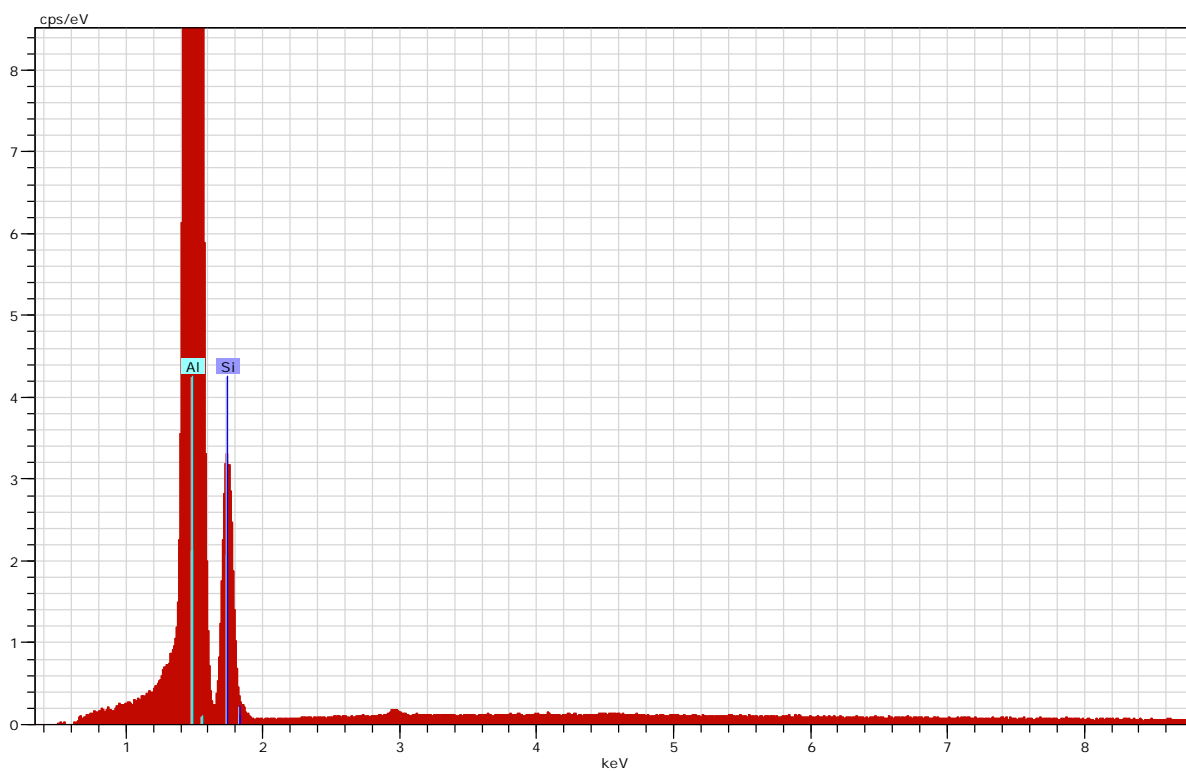
Application Note

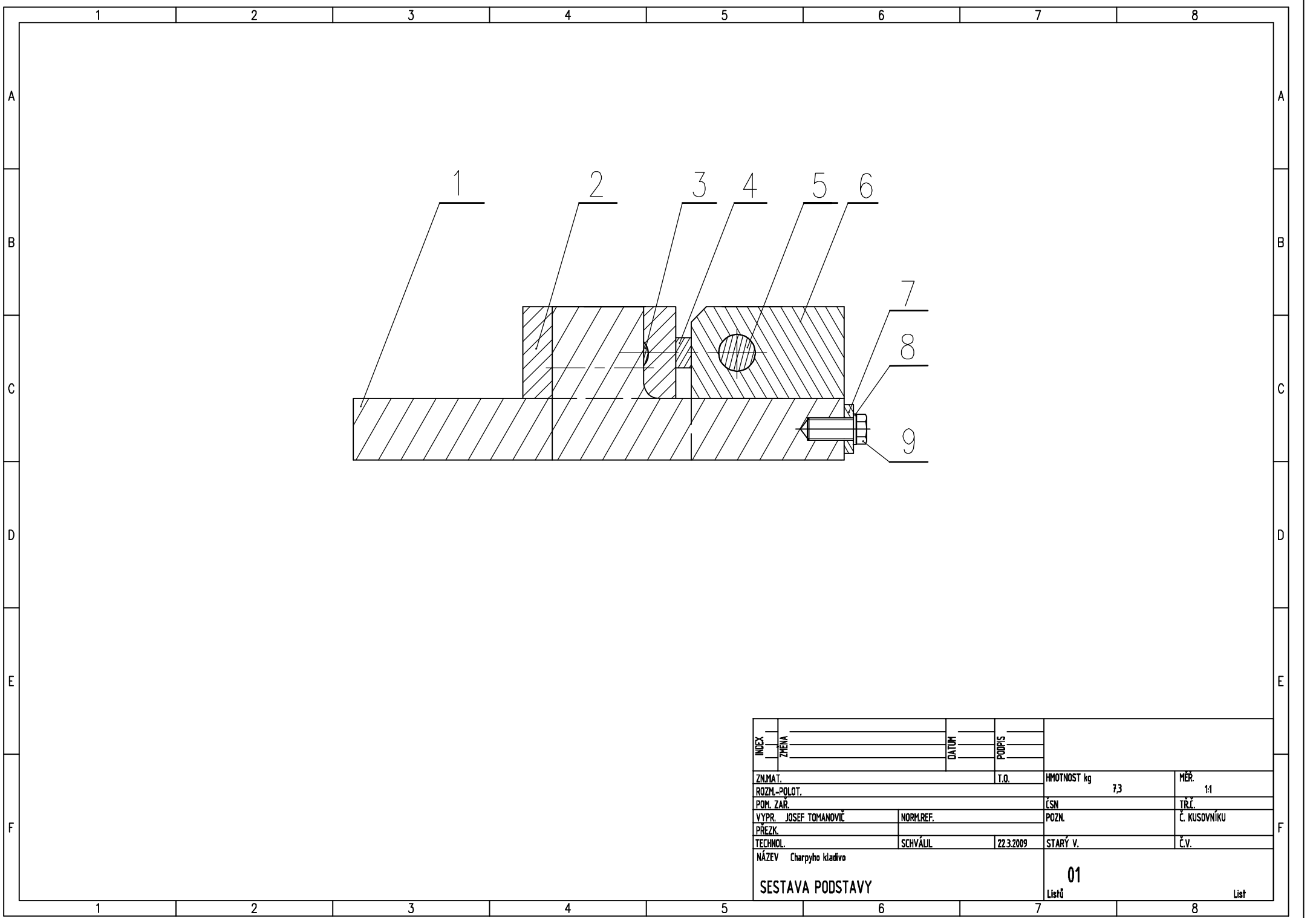
Company / Department



Spectrum: Acquisition


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Al	13	K-series	88.85	86.93	87.39	4.5
Si	14	K-series	13.32	13.04	12.59	0.6
Ti	22	K-series	0.04	0.04	0.02	0.0
Total:			102.22	100.00	100.00	

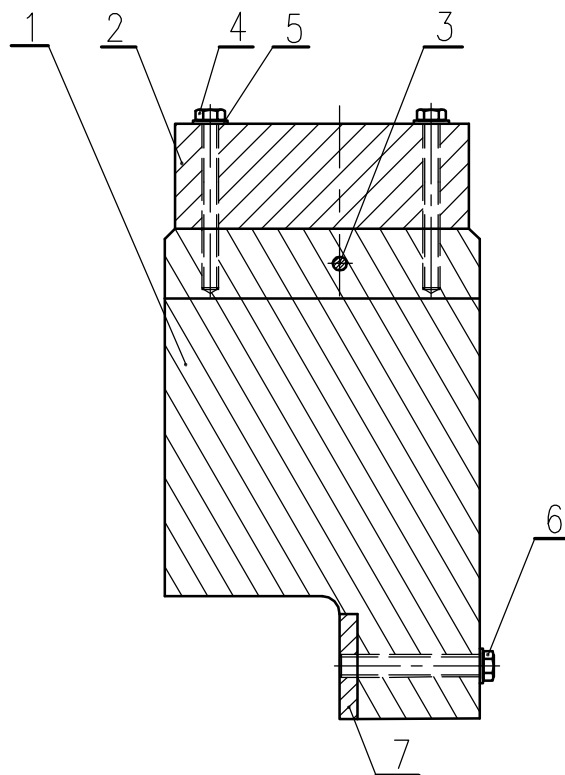




INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZNMAT.		T.O.		HMOTNOST kg	MÉR.
ROZM.-POLOT.				7,3	1:1
POM. ZAR.				CSN	TRČ
VYPR. JOSEF TOMANOVIC	NORM.REF.			POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PREZR.					
TECHNOL.	SCHVÁLIL	22.3.2009	STARÝ V.	Č.V.	
NÁZEV Charpyho kladivo					
SESTAVA PODSTAVY				01	
				Listů	
				List	


ODK.	OZNAČENÍ	POLOTOVAR	ČÍS. ZÁSOBNÍKU	MN.
	VÝKRES	MATERIÁL	POZNÁMKA	JED.
1	PODSTAVA 1	PLO 160x20 ČSN 42 5526	1	1
	01	12 050		ks
2	JEZDEC	PLO 50x30 ČSN 42 5526	1	1
	03	12 050		ks
3	ČEP 12 x 80 A ISO 2340			1
				ks
4	VZOREK	HLINÍKOVÁ SLITINA	1	1
	04	AISI		ks
5	ČEP 12 x 30 A ISO 2340			1
				ks
6	PODSTAVA 2	PLO 50x30 ČSN 42 5526	1	1
	02	12 050		ks
7	TYČ PLOCHÁ 16x6	PLO 16x6 ČSN 42 5522	1	1
	05	11 375		ks
8	PODLOŽK B 6,4 ČSN02 1702			3
				ks
9	ŠROUB M6 x 18 ISO 4017			3
				ks
10				ks
11				ks
12				ks
13				ks
14				ks
15				ks
16				ks
17				ks
18				ks
19				ks
20				ks
21				ks
22				ks

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Měřítko	Pozn.	Navrhl			
N		Kreslil	TOMANOVIC		SESTAVA PODSTAVY
		Přezkoušel			
Č.seznamu		Technolog			čís.výkresu
Č.sestavy	01	Normaliz.			
Starý výkr.		Schválil			List
Nový výkr.		Datum	22.3.2009		

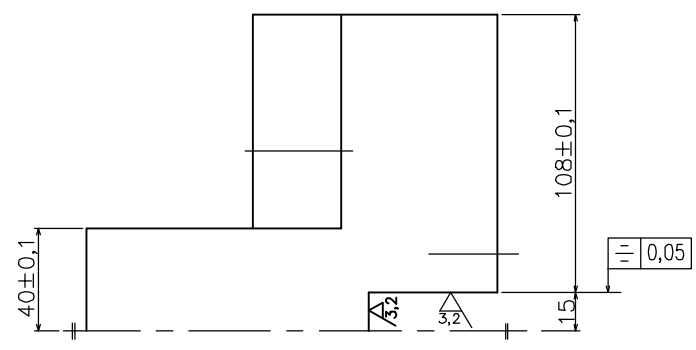
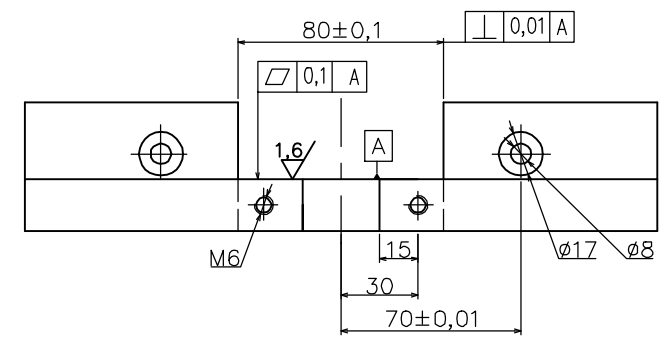
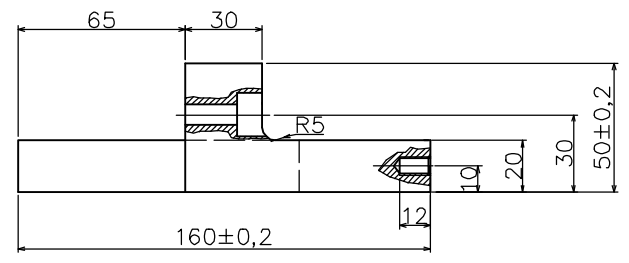


INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZN.MAT.	12 050	T.O.		HMOTNOST kg	MÉR.
ROZM.-POLOT.	PL0 140 x 50 - ČSN 42 5526 - 12 050			6,2 kg	1:2
POM. ZAŘ.				ČSN	TR.Č.
VYPR.	JOSEF TOMANOVÍČ	NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.	SCHVÁLIL	14.12. 2008	STARÝ V.		Č.V.
NÁZEV	Charpyho kladivo				
SESTAVA KYVADLA			01		
			Listů		List

ODK.	OZNAČENÍ	POLOTOVAR	ČÍS. ZÁSOBNÍKU	MN.
	VÝKRES	MATERIÁL	POZNÁMKA	JED.
1	KYVADLO	PLO 140x50 ČSN 42 5526	1	1
	07	12 050		ks
2	KYVADLO – VÝZTUŽ	PLO 90x50 ČSN 42 5526	1	1
	06	12 050		ks
3	KOLÍK 4 x 50 A ISO 239			1
				ks
4	ŠROUB M5 x 45 ISO 4017			4
				ks
5	PODLOŽKAB 5,3 ČSN02 1702			6
				ks
6	ŠROUB M5 x 40 ISO 4017			2
				ks
7	NARÁŽECÍ DESTIČKA	PLO 25 x 5 ČSN 42 522	1	2
	08	12 050		ks
8				ks
9				ks
10				ks
11				ks
12				ks
13				ks
14				ks
15				ks
16				ks
17				ks
18				ks
19				ks
20				ks
21				ks
22				ks

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Měřítko	Pozn.	Navrhl			
N		Kreslil	TOMANOVIC		SESTAVA KYVADLA
		Přezkoušel			
Č.seznamu		Technolog			Typ
Č.sestavy	02	Normaliz.			čís.výkresu
Starý výkr.		Schválil			02
Nový výkr.		Datum	14.12.2008		

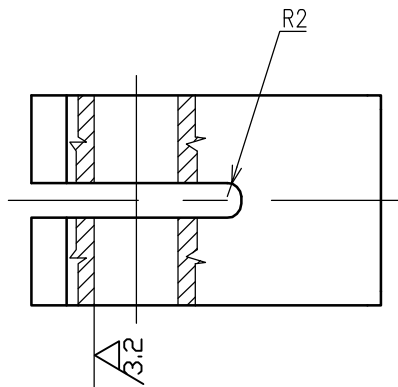
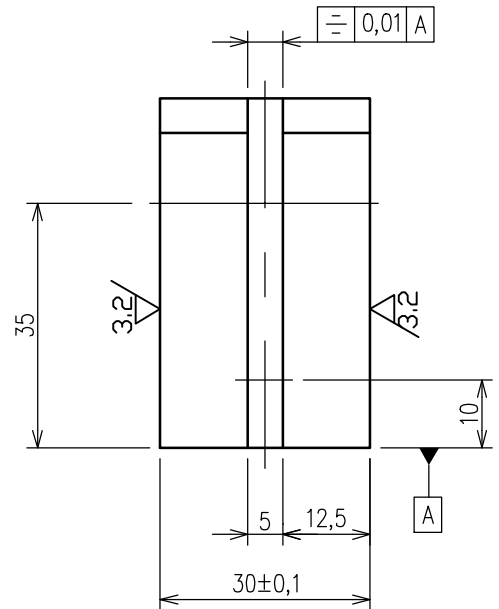
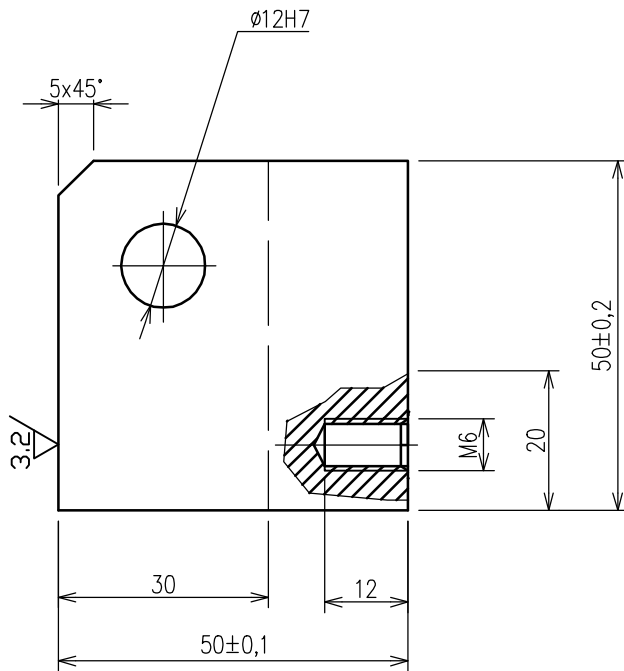
6,3 (✓)



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZNMAT. 12050		T.O.	HMOTNOST kg		MER. 12
ROZM.-POLOT.		ČSN		TRČ.	
VYPR. JOSEF TOMANOVIC	NORM.REF.	POZN.	Č. KUSOVNIKU		
PREZK.	SCHVALIL	22.3.2009	STARÝ V.	Č.V.	
NÁZEV Charpyho kladivo			01		
PODSTAVA 1			Listů		List

1 2 3 4

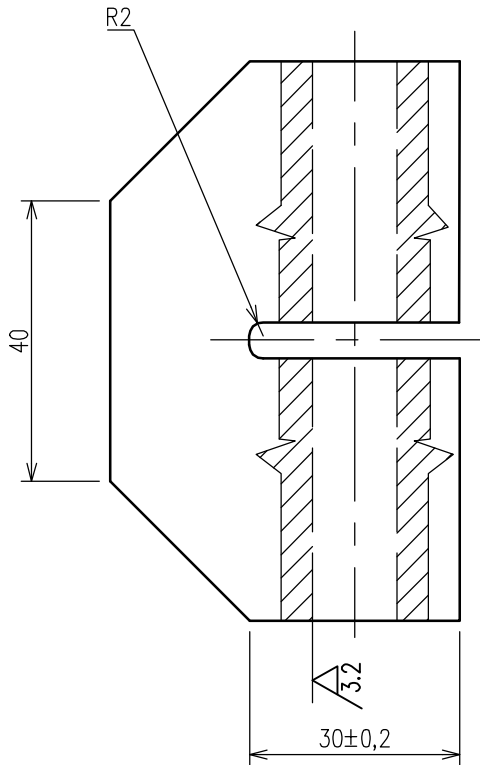
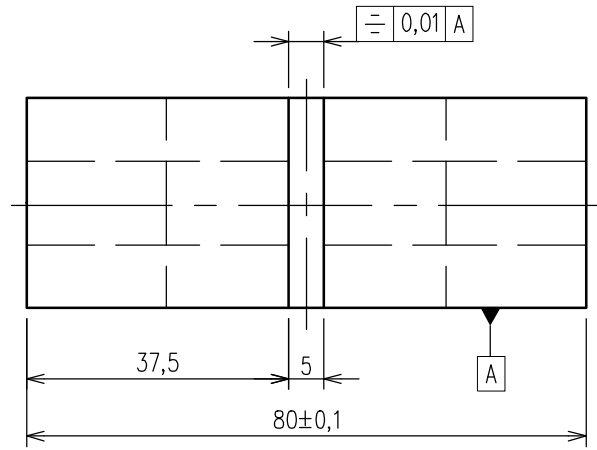
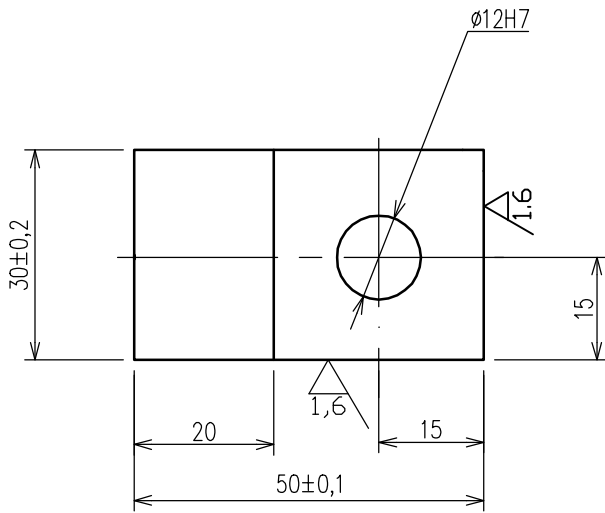
6,3 (✓)



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZN.MAT.	12 050	T.O.		HMOTNOST kg	MÉR.
ROZM.-POLOT.	PLO 50 x 30 - ČSN 42 5526 - 12 050			0,5	1:1
POM. ZAŘ.				ČSN	TR.Č.
VYPR.	JOSEF TOMANOVÍČ	NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.	SCHVÁLIL	10.12. 2008	STARÝ V.	Č.V.	
NÁZEV	Charpyho kladivo				
PODSTAVA 2			02		
			Listů		List

1 2 3 4

6,3 / (✓)



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZN.MAT. 12 050		T.O.		HMOTNOST kg	MĚR.
ROZM.-POLOT. PLO 50 x 30 - ČSN 42 5526 - 12 050				0,8 kg	1:1
POM. ZAŘ.				ČSN	TR.Č.
VYPR. JOSEF TOMANOVIC	NORM.REF.			POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PREZK.	SCHVÁLIL	10.12. 2008	STARÝ V.	Č.V.	
TECHNOL.					
NÁZEV Charpyho kladivo					
JEZDEC				03	
				Listů	List

1

2

3

4

A

A

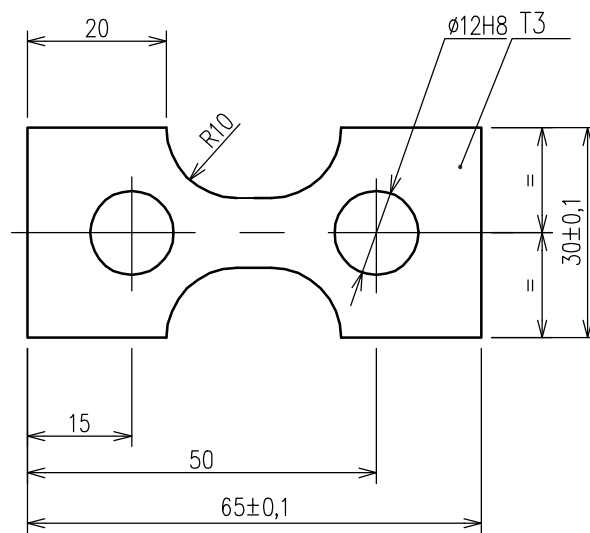
3,2
√

B

B

C

C



D

D

E

E

F

F

INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
				ZN.MAT. AlSi11Mg	T.O.
				ROZM.-POLOT. Hliníková slitina automobilového kola	HMOTNOST kg 0,009
				POM. ZAŘ.	ČSN MĚR. 1:1
				VYPR. JOSEF TOMANOVÍČ	TR.Č. Č. KUSOVNÍKU
				PŘEZK. NORM.REF.	POZN.
				TECHNOL. SCHVÁLIL	10.12. 2008
				NÁZEV Charpyho kladivo	STARÝ V. Č.V.
				VZOREK	04
				Listů	List

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

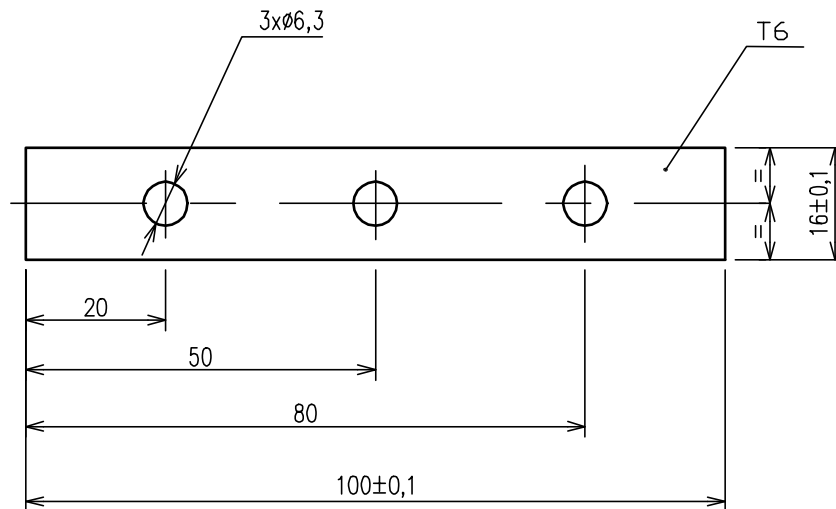
D

E

E

F

F



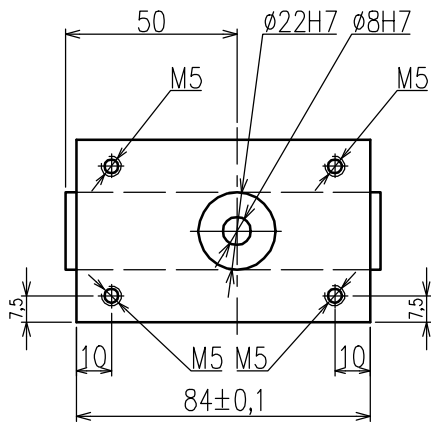
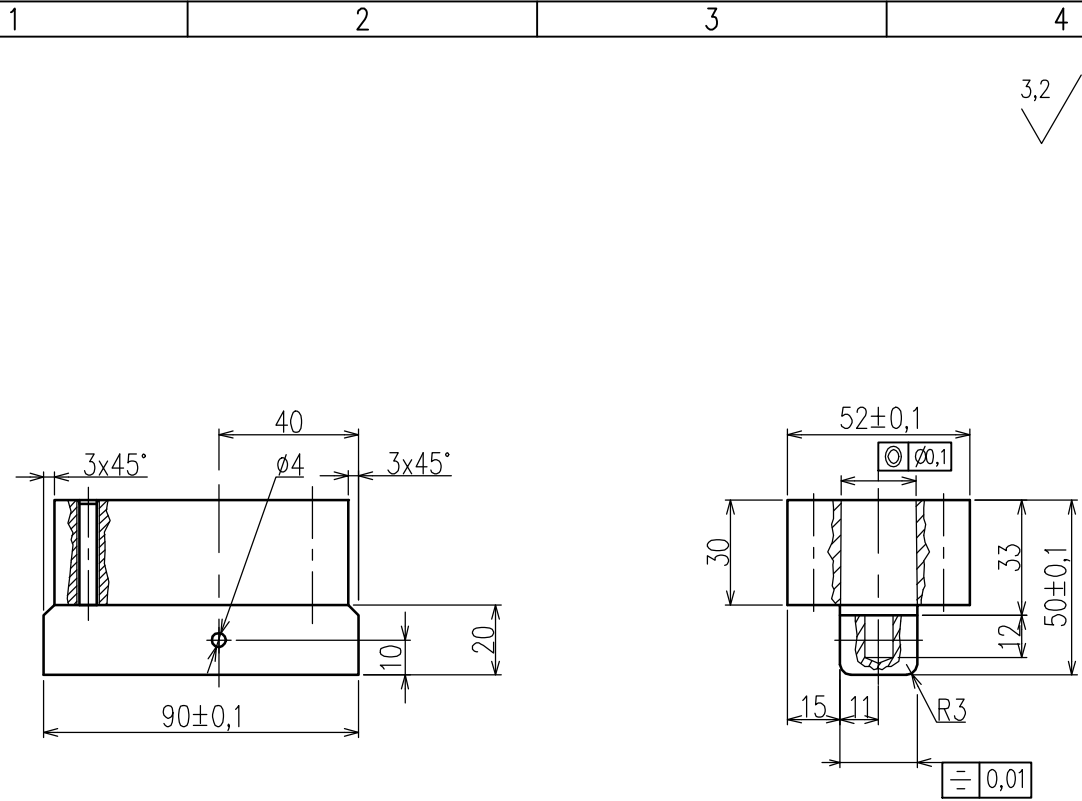
INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
				ZN.MAT. 11 375	T.O.
				ROZM.-POLOT. PLO 16 X 6 - ČSN 42 5522 - 11 375	HMOTNOST kg 0,07
				POM. ZAŘ.	ČSN
				VYPR. JOSEF TOMANOVÍČ	POZN.
				PREZK.	TR.Č.
				TECHNOL.	Č. KUSOVNÍKU
				SCHVÁLIL	Č.V.
				NÁZEV Charpyho kladivo	STARÝ V.
				Tyč plochá 16 x 6	05
					Listů
					List

1

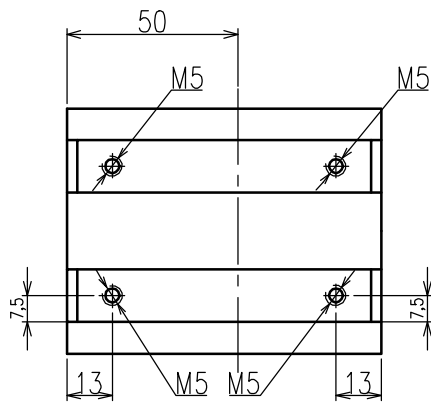
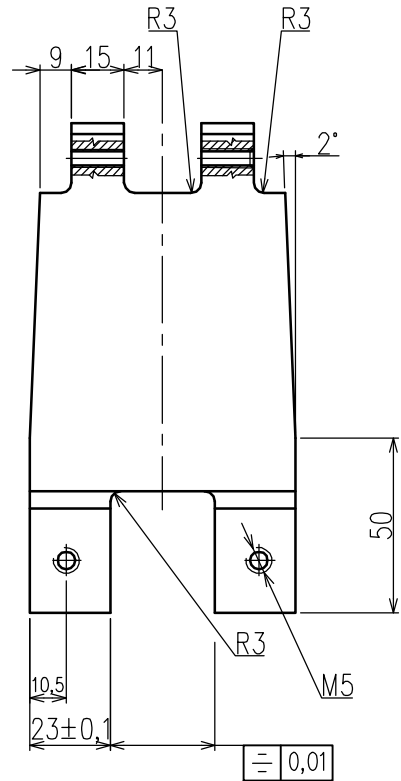
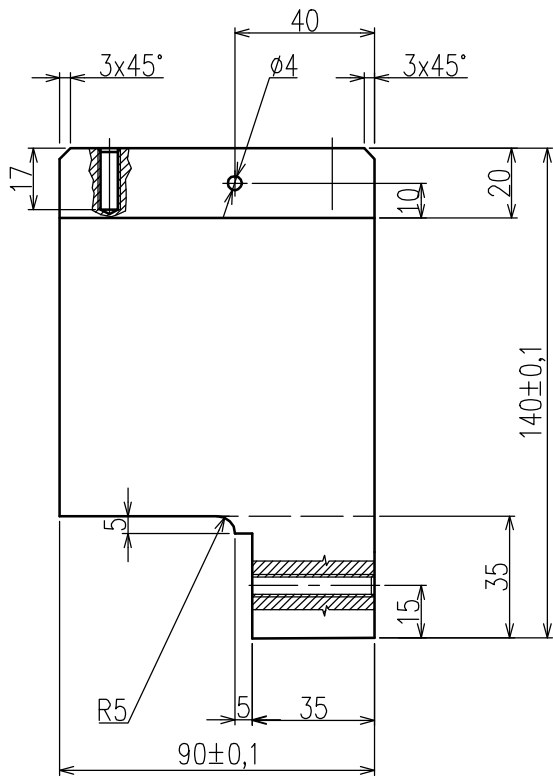
2

3

4



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZN.MAT. 12 050		T.O.		HMOTNOST kg	MĚR.
ROZM.-POLOT. PLO 90 x 50 - ČSN 42 5526 - 12 050				1,22	1:2
POM. ZAŘ.		ČSN		TR.Č.	
VYPR. JOSEF TOMANOVÍČ		NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.		SCHVÁLIL		14.12. 2008	Č.V.
TECHNOL.		SCHVÁLIL		14.12. 2008	Č.V.
NÁZEV Charpyho kladivo				06	
KYVADLO - VÝZTUŽ				Listů	List



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
				ZN.MAT. 12 050	T.O.
				ROZM.-POLOT. PLO 140 x 50 - ČSN 42 5526 - 12 050	HMOTNOST kg 6,2 kg
				POM. ZAR.	ČSN MĚR. 1:2
				VYPR. JOSEF TOMANOVIC	POZN. Č. KUSOVNÍKU
				PREZK. NDRM.REF.	Č.V.
				TECHNOL. SCHVÁLIL	14.12. 2008
				NÁZEV Charpyho kladivo	STARÝ V.
				KYVADLO	07
				Listů	List

1

2

3

4

A

A

3,2

B

B

C

C

D

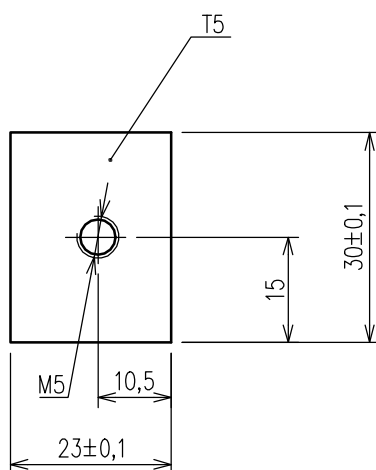
D

E

E

F

F



INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS		
ZN.MAT.	12 050	T.O.		HMOTNOST kg	0,03
ROZM.-POLOT.	PLO 25 x 5 - ČSN 42 5522 - 12 050			MĚR.	1:1
POM. ZAŘ.				ČSN	TR.Č.
VYPR.	JOSEF TOMANOVÍČ	NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.	SCHVÁLIL	14.12. 2008	STARÝ V.	Č.V.	
NÁZEV	Charpyho kladivo				
Narážecí destička			08		
			Listů		List

1

2

3

4