



Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Metodika provozního měření

MPM 2.4.1/01/18

METODIKA MĚŘENÍ RÁZOVOU ZKOUŠKOU

Praha

Říjen 2018

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018
Číslo úkolu: VII/3/18

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět metodiky

Rázová zkouška, jinak také nazývaná zkouška vrubové houževnatosti, patří mezi nejdůležitější a nejvíce využívané mechanické zkoušky. Rázovou zkoušku používáme pro zjištění houževnatosti materiálu neboli schopnosti materiálu pohlcovat mechanickou energii. Měříme velikost nárazové práce potřebné k přeražení zkušebního vzorku s uměle vytvořeným vrubem.

Zkouška vrubové houževnatosti se řadí do kategorie dynamických zkoušek. Těleso je namáháno rázem, resp. silou koncentrovanou do velmi krátké doby. Některé děje se v důsledku vysoké rychlosti dynamického namáhání nestihnou uskutečnit a materiál se v důsledku rostoucí rychlosti deformace stává křehčí. Při dynamickém namáhání roste odpor materiálu proti deformaci.

Většina součástí je v reálném provozu běžně vystavena cyklickým změnám zatížení. Nejnebezpečnější jsou rázová zatížení, která mohou vyvolat křehký lom a způsobit náhlou a nečekanou destrukci součásti. Velikost těchto kritických dynamických zatížení by v případě statického namáhání nebyla pro provoz součásti nebezpečná.

V Evropě se nejčastěji provádí zkouška dle Charpyho (tříbodový ohyb). Převážně v USA či Velké Británii se můžeme setkat se zkouškou vrubové houževnatosti dle Izoda (jedna polovina zkušebního tělesa pevně vetknutá do zkušebního zařízení). Měření vrubové houževnatosti lze provádět také instrumentovaně. Instrumentací rázového kladiva získáme detailní data o časovém průběhu zkoušky a o podílu křehkého a houževnatého lomu přeraženého vzorku.

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO 148-1	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy - Část 1: Zkušební metoda	[L1]
ČSN EN ISO 14556	Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu na kyvadlovém kladivu tyčí Charpy s V-vrubem - Instrumentovaná zkušební metoda	[L2]
ČSN EN ISO 179-1	Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy - Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška	[L3]
ČSN EN ISO 180	Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Izod	[L4]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření rázovou zkouškou je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na funkčním zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2).

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

Charpyho kladivo

Charpyho kladivo sestává z kladiva opatřeného břitem, podpěrami pro umístění vzorku a stupnicí pro odečtení síly vynaložené na přeražení zkušební tělesa. Stupnice musí svým rozsahem odpovídat hmotnosti použitého kladiva. Charpyho kladiva, která umožňují měnit hmotnost kladiva, mají variabilní stupnicí (analog) pro odečtení odpovídající hodnoty vynaložené práce, nebo v případě moderních zařízení elektronické vyhodnocení. Kapacita zkušebních strojů je nejčastěji od 6 do 450 J. Břity mohou být opatřeny tenzometry (instrumentovaná zkouška), aby bylo možné zaznamenávat průběh deformace v závislosti na čase.

Kleště na usazení vzorku, teploměr, chladicí nádoba, pec, termostat, stopky

Zkouška vrubové houževnatosti probíhá nejen za pokojové teploty, ale také za snížených nebo naopak za zvýšených teplot. Zkušební těleso se ochladí v chladicí nádobě (převážně v roztoku dusíku a lihu), nebo zahřeje v peci případně pomocí termostatu (do 100°C). Po ustálení teploty v objemu celého vzorku se těleso co nejrychleji přemístí na podpěry Charpyho kladiva a provede se zkouška. Pro řízení teploty (ochlazení, zahřátí) využíváme kalibrované teploměry. Pro ověření předepsané doby pro přesun vzorku na místo zkoušky používáme kalibrované stopky. Pro uchopení a přesunutí vzorku používáme speciální kleště, které zároveň usnadňují usazení vzorku do požadované polohy (vycentrování vzorku do střední vzdálenosti mezi podpěry).

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Výsledek měření ovlivňuje především:

Teplota prostředí - s rostoucí teplotou prostředí se zvyšuje houževnatost materiálu a tím se také zvětšuje velikost práce, potřebná na přeražení zkušební tyče.

Hmotnost zkušebního kladiva - hmotnost kladiva volíme dle předpokládané velikosti vrubové houževnatosti zkoušeného materiálu.

Geometrie břítu - břit může mít poloměr zakřivení 2 mm, nebo 8 mm. Výsledky zkoušky provedené na tomtéž materiálu se mohou lišit v závislosti na použité geometrii břítu.

Geometrie vrubu, orientace vrubu - geometrie vrubu má na výsledné hodnoty významný vliv. V-vruby používáme především pro materiály vykazující tranzitní lomové chování. U-vruby aplikujeme na oceli perlitické, legované atp. Značný význam má také hloubka vrubu, která se volí od 2 mm do 5 mm. Důležitá je také orientace vrubu vzhledem ke směru vláken testovaného materiálu.

Výroba zkušebního tělesa, kvalita povrchu - povrch zkušebního tělesa by měl být hladký bez výrazných rýh na povrchu tělesa. Obzvláště nevhodné jsou rýhy rovnoběžné s kořenem vrubu. Při výrobě nesmí dojít k ovlivnění vlastností materiálu zkušebního tělesa ohřevem, nebo tvářením za studena.

7 Meze využití metody měření

Kapacita kladiva Charpy (Izod)

Kapacita zkušebního zařízení je určena hmotností hlavy zkušebního kladiva a délkou ramene. Je-li výsledná naměřená hodnota energie nad 80 % celkové energie kladiva, je výsledek nepřesný a lze jej brát pouze jako orientační (informativní). Materiál vykazující takto vysoké hodnoty spotřebované energie je téměř vždy 100 % houževnatý. V některých případech nemusí k přeražení vzorku vůbec dojít. Je-li vzorek naopak extrémně křehký (např.: Al a jeho slitiny) je vhodné zvolit zkušební stroj s nižší kapacitou, aby bylo možné nízké hodnoty přesně zaznamenat.

Zkouška vrubové houževnatosti za snížených teplot

K chlazení je možné použít buď klimatickou komoru, nebo roztok zkapalněného dusíku a lihu. Limitní zápornou teplotou, na kterou lze zkušební vzorek teoreticky ochladit, je teplota čistého tekutého dusíku -196°C . Vzorky se chladí v uzavíratelných izolovaných nádobách, aby se zamezilo rychlému odpařování dusíku. Při teplotách pod -100°C začíná chladicí roztok houstnout a práce s ním je obtížná. Problematické je také rychlé přemístění vzorku na podpěry zkušebního stroje. Je-li prodleva mezi vyjmutím vzorku z lázně a jeho přeražením příliš dlouhá, vzorek se ohřeje, a výsledek je nepřesný. [1]

Zkouška vrubové houževnatosti za zvýšených teplot

K ohřevu zkušebních těles používáme pec nebo termostat. Teplota ohřevu nesmí překmitnout požadovanou teplotu pro testování. V případě překmitu teploty na vyšší hodnoty může dojít k ovlivnění struktury testovaného materiálu a tedy i k negativnímu ovlivnění samotného výsledku zkoušky.

Rozměr zkušebního tělesa

Geometrie zkušebního tělesa je stanovena příslušnou normou [1]. Standardní rozměr zkušební tyče je (55 x 10 x 10) mm. Není-li dost materiálu pro výrobu standardních zkušebních tyčí, lze použít tyče s redukováným průřezem (7,5 x 10 x 55) mm, (5 x 10 x 55) mm a (2,5 x 10 x 55) mm. Výsledky získané ze zkoušení různých typů zkušebních tyčí nejsou mezi sebou porovnatelné![1]

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření**Měření tření**

Pro ověření správné funkce zkušebního stroje je třeba každý den před zahájením měření zkontrolovat ztráty energie způsobené třením. Tření vzniká odporem vzduchu, v ložiscích a odporem ručičky na stupnici. Ztrátu třením změříme prokmitem kladiva na prázdnou (půl kmit, bez vzorku). Ručička správně seřízeného kladiva by na stupnici měla ukazovat hodnotu velmi blízkou nule. [1]

Vystředění vzorku na podpěrách (platí pro Charpyho metodu)

Zkušební těleso je umístěno tak, aby byl vrub ve střední vzdálenosti mezi podpěrami kladiva. Je-li těleso vychýleno mimo osu pohybu kladiva, je výsledná naměřená hodnota nepřesná. [1]

9 Postup měření

Zkušební těleso je umístěno na podpěry. Břit dopadá na protilehlou stranu proti vrubu. Vrubová houževnatost KCV (nebo KCU) vyjádřená vztahem:

$$KCV = KV / S_0 \quad (\text{J/cm}^2)$$

$$KCU = KU / S_0 \quad (\text{J/cm}^2)$$

$$KCV \text{ (nebo } KCU) = KV \text{ (nebo } KCU) / S_0 \quad (\text{J/cm}^2)$$

kde KV je práce spotřebovaná na přeražení tyče s V-vrubem (KU je práce spotřebovaná na přeražení tyče s U-vrubem) a S_0 je plocha průřezu tyče pod vrubem.

Zkušební teplota

Není-li stanoveno jinak, je zkouška prováděna při zkušební teplotě $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Je-li vyžadována jiná teplota, musí být vzorek temperován v plynném nebo kapalném prostředí. V kapalném prostředí musí být vzorek umístěn minimálně 25 mm nade dnem nádoby a nejméně 10 mm od stěn nádoby. Temperujeme po dobu nejméně 5 min. V případě plynného prostředí je vzorek umístěn alespoň 50 mm od nejbližšího povrchu a doba výdrže na teplotě je minimálně 30 min.

Přenesení vzorku

Probíhá-li zkouška při jiné než okolní teplotě, musí být vzorek odzkoušen do 5 s po vyjmutí z temperujícího prostředí. V případě, že rozdíl zkušební teploty a teploty okolí nedosahuje 25°C , je čas na přesunutí vzorku 10 s.

Dále hodnotíme:**Příčné rozšíření**

Příčné rozšíření měříme jako náhradu za měření kontrakce, které je problematické. Velikost příčného rozšíření závisí na odolnosti materiálu proti lomu ve stavu trojosé napjatosti.

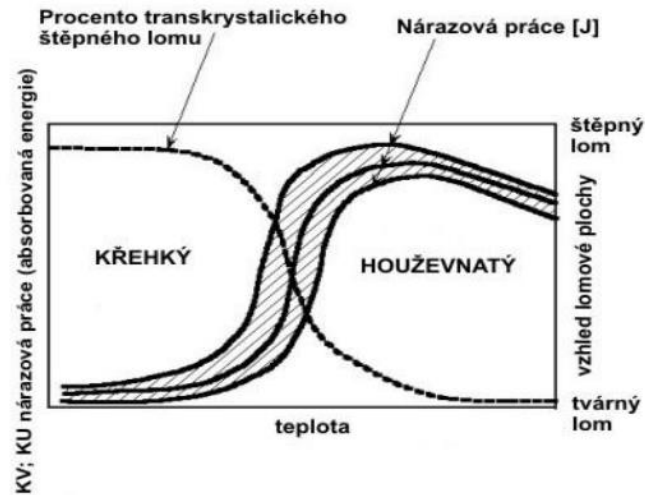
Příčné rozšíření měříme kontaktně nebo bezkontaktně. Měření provádíme na obou polovinách vzorku. Je-li jeden nebo více výstupků na lomových plochách poškozených, není možné měření provést.

Vzhled lomu

Lomová plocha je hodnocena především z pohledu podílu křehkého a houževnatého lomu. Charakteristiku lomu můžeme hodnotit buď pohledem a následným měřením procenta štěpné části („lesklé“ části), nebo z grafického průběhu zkoušky (závislost průběhu energie na čase) získaného pomocí instrumentovaného břitu.

Křivka teplotní závislosti absorbované energie

Tato křivka vyjadřuje závislost mezi absorbovanou energií a zkušební teplotou.



Obr. č. 1: Křivka vyjadřující závislost mezi absorbovanou energií a zkušební teplotou.

Přechodová teplota

Přechodová teplota odpovídá oblasti strmého nárůstu absorbované energie. Nejčastěji zjišťovaná je tzv. tranzitní teplota (T50%). Tato teplota se zjišťuje u materiálů vykazujících tranzitní chování, které se projevuje změnou tvárného lomu na lom křehký vlivem poklesu teploty.

10 Stanovení nejistoty měření při (příklad)

Odhad nejistoty měření se provádí v souladu s aktuálně platnou normou [1]. Nejistotu nelze stanovit absolutně, protože vyjádření nejistoty je ovlivněno jak materiálově nezávislými, tak materiálově závislými příspěvků.

Nejistota výsledků stanovených zkouškou rázem v ohybu obsahuje složky vztažené k použitému zařízení. Různé zkušební výsledky mají odlišné příspěvky nejistoty, které závisí na způsobu jejich stanovení. Dále jsou podrobněji uvedena vstupní data a s nimi spojené nejistoty měření:

- přesnost zkušebního stroje (Charpy kladivo),
- přesnost stanovení spotřebované energie (technikem),
- přesnost rozměrů tyče (délka, výška, šířka),
- přesnost výroby vrubu (hloubka, zaoblení dna vrubu),
- přesnost geometrie podpor,
- vliv teploty,
- vliv rychlosti kladiva,
- vliv rychlosti zatěžování v rozsahu rychlostí daných různým druhem kyvadlových kladiv je možno zanedbat,

- vliv nepřesnosti teploty zkušební tělesa na výslednou hodnotu energie spotřebované na přeražení zkušební tyče se mění v závislosti na charakteru porušení tyče. V oblasti spodních prahových hodnot, tedy při relativně nízkých zkušebních teplotách, a v oblasti horních prahových hodnot, tedy při relativně vysokých teplotách, je vliv nepřesného stanovení zkušební teploty podstatně menší, než v tranzitní oblasti, kde malá nepřesnost může vést k podstatnému ovlivnění měřené hodnoty.

11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.)

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 2.4.1/01/18)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

12 Péče o metodický postup

Originál metodického postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele nebo metrolog organizace.

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle

interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.