

Vliv vrubů a teploty na únosnost konstrukcí

Jaroslav Seifrt¹, Kateřina Skybová², Vít Kubáň³

¹Gymnázium Jiřího z Poděbrad, Poděbrady; seifrtml@live.com

²Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové;

kata.skybova@seznam.cz

³Masarykovo gymnázium Příbor, Příbor; vit.kuban@gypri.cz

Abstrakt:

Práce se zabývá vlivem vrubů a teploty na únosnost materiálů. Toto jsme zkoumali pomocí Charpyho zkoušky vrubové houževnatosti a tahové zkoušky hladkých a vrubovaných těles. Vrbový účinek lze vyjádřit součinitelem koncentrace napětí α . Podařilo se prokázat, že se zvětšujícím se α se snižuje odolnost tělesa v tahu.

1 Úvod

V konstrukcích existuje mnoho koncentrátorů napětí, jako vruby, trhliny, nýty, svary a rohy. Na těchto koncentrátorech se hromadí napětí a snižuje se únosnost materiálu. Existuje několik způsobů jak problém řešit, a to je vhodný výběr materiálu, vhodný návrh konstrukce, pravidelné inspekce, správný chod a různé úpravy. Například využití lepidla při lepení součástí místo sváření nebo nýtování. Velmi důležitou roli hraje i teplota, která ovlivňuje houževnatost materiálů. Křehnutí podchlazených ocelí je velmi známý jev, představuje závažný problém v mnoha oblastech konstruktérské praxe [1].

2 Metody

Metoda pro studium křehnutí materiálu byla použita Charpyho zkouška vrubové houževnatosti (Obr. 1). Houževnatost materiálu je schopnost absorbovat energii plastickou deformací. Na Charpyho zkoušku byla použita tělesa z konstrukční oceli třídy 11 s rozměry 10 mm x 10 mm x 55 mm s V vrubem hloubky 2 mm a otvorem umožňujícím měření teploty. Pro měření teploty jsme použili termočlánek. Chlazení materiálu probíhalo ponořením do tekutého dusíku. Ohřev ponořením do teplé vody. Cílem je určit přechodovou teplotu tělesa T_{HKL} , při níž materiál přestává být houževnatý a mění se na křehký.

Další metodou byla tahová zkouška. Byla použita Trhačka, která deformovala těleso tahem (Obr. 2). Zařízení měří sílu F a posuv u . Hladké těleso bylo upevněno do čelistí a cílem bylo změřit mez kluzu σ_k , mez pevnosti σ_m a tažnost A . Napětí v tělese o průřezu S se vypočítá podle vztahu

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (1)$$



Obr. 1: Charpyho kladivo.



Obr. 2: Hladký vzorek v trhačce; zaškracený krček.

Měrné prodloužení (deformace) se vypočítá

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (2)$$

kde l je délka měrné části tělesa. Pro jednoduchost bylo bráno $l = u$. Ze vztahu (2) plyne

$$A = \frac{l_f - l_0}{l_0}, \quad (3)$$

kde l_f je délka měrné části tělesa v deformovaném stavu.

V okolí vrubu dochází ke koncentraci napětí [2]. Velikost koncentrace napětí charakterizuje tzv. součinitel koncentrace napětí α . Je definován vztahem

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma}, \quad (4)$$

kde σ_{\max} je maximální napětí před čelem vrubu a σ je napětí v tělese bez vrubu [2]. Pro těleso s jednostranným bočním vrubem nebo oboustranným bočním vrubem platí

$$\alpha = 2,7357 \cdot \left(\frac{a}{\rho}\right)^{0,4358}, \quad (5)$$

Kde a je hloubka vrubu a ρ je poloměr zakřivení dna vrubu [2].

Pro středový eliptický otvor platí vztah [2]

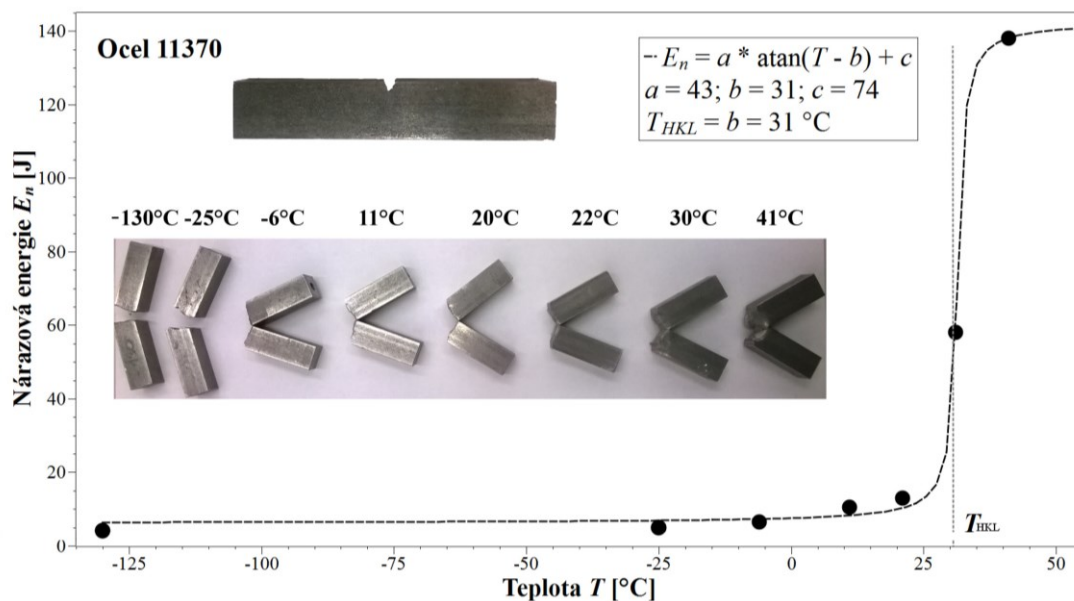
$$\alpha = 1 + 2 \cdot \left(\frac{a}{\rho}\right)^{0,5}, \quad (6)$$

pro speciální případ eliptického otvoru, kdy $a = \rho$, což je kruhový otvor, vychází $\alpha = 3$.

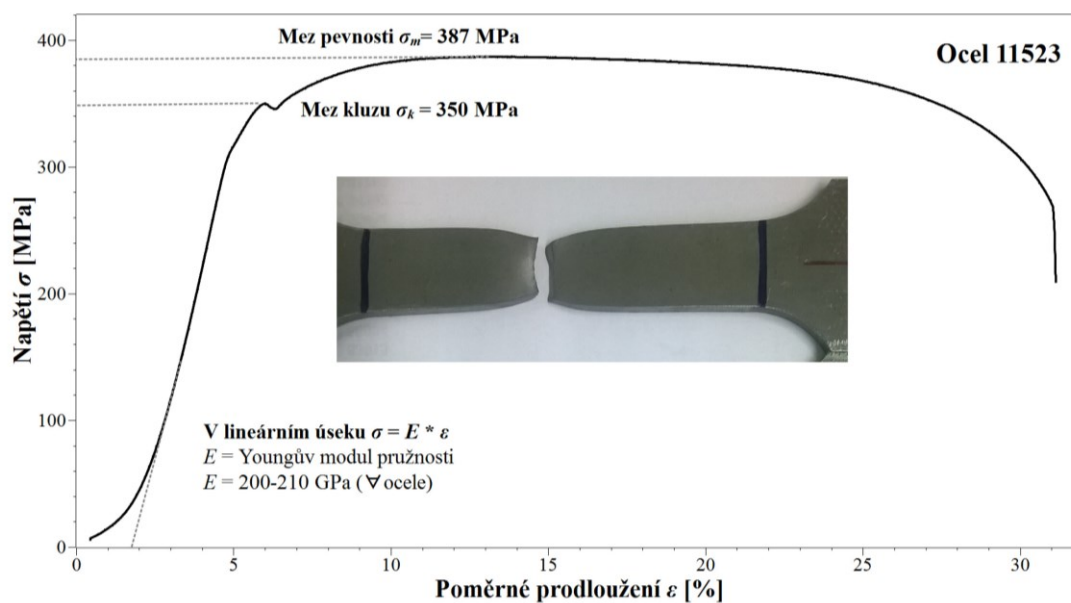
3 Výsledky

Na Obr. 3 lze vidět závislost absorbované energie na teplotě materiálu. Naměřené body byly proloženy funkcí arkustangens [3] (Obr. 3). Přechodová teplota T_{HKL} vyšla přibližně 31 °C.

Na Obr. 4 jsou vidět výsledky tahové zkoušky pro nezmražený vzorek oceli. Mez kluzu vyšla rovna 350 MPa a mez pevnost 387 MPa. Na začátku grafu lze pozorovat pružnou deformaci až k mezi kluzu a od ní plastickou deformaci. Byla změřena délka měrné části tělesa po zkoušce l_f a pomocí vztahu (3) byla vypočtena tažnost materiálu 28 %. Z toho vyplývá, že zkoušená ocel je velice dobře tvárná a houževnatá.



Obr. 3: Závislost absorbované energie na teplotě materiálu oceli 11370. Lze pozorovat neporušený vzorek a podobu porušených těles v závislosti na teplotě.

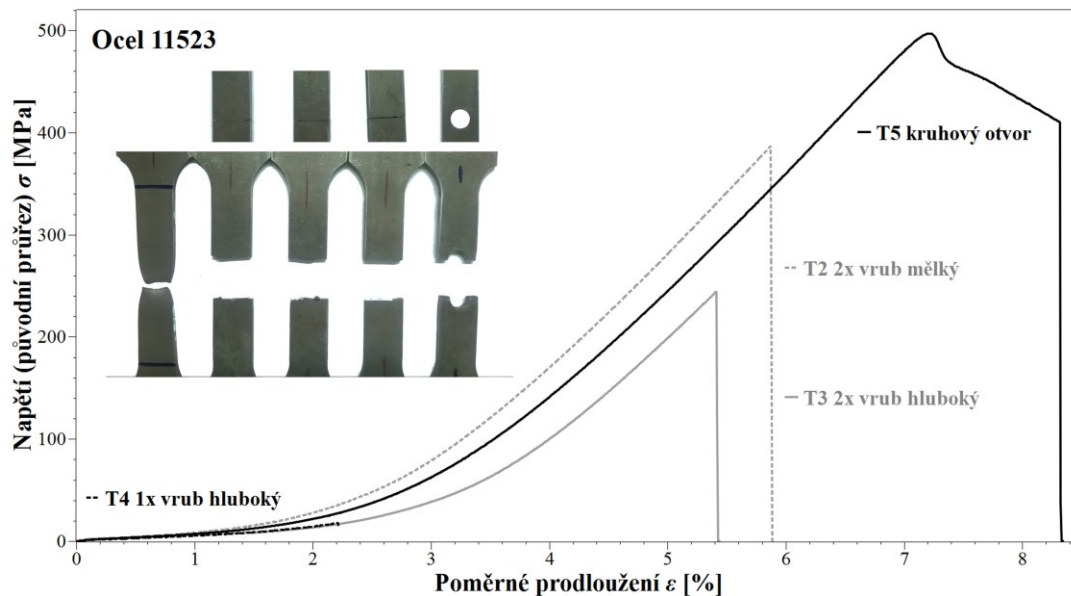


Obr. 4: Závislost napětí σ na poměrném prodloužení ϵ . Je vidět vzorek přetržený při pokojové teplotě a velká kontrakce materiálu v okolí lomu.

Tab. 1 Rozměry tahových těles, geometrie vrubů a výsledky. W = šířka tělesa, a = hloubka vrubu, b = tloušťka tělesa, S_n = zbývající nosný průřez, l_0 = délka měrné části, α = součinitel koncentrace napětí, σ_m = mez pevnosti.

těleso	popis	geom.	W [mm]	a [mm]	b [mm]	S_n [mm ²]	l_0 [mm]	α [-]	σ_m [MPa]
T1	hladké		20.0	-	3.8	76	70	1.0	387
T2	2x vrub mělký	- -	20.2	2x 2,4	3.8	58	70	9.2	387
T3	2x vrub hluboký	-- --	20.0	2x 4,7	3.8	40	70	12.2	244
T4	1x vrub hluboký	----	20.0	15.2	3.8	18	70	20.5	18
T5	kruhový otvor	O	20.3	10.0	3.8	39	70	3.0	497

Na Obr. 5 jsou výsledky tahové zkoušky podchlazených a různě uměle před-poškozených vzorků. Z naměřených hodnot byly vyhodnoceny maximální hodnoty napětí σ tedy meze pevnosti. Rozměry těles, meze pevnosti a součinitele koncentrace napětí α jsou uvedeny v Tab. 1. Potvrdilo se, že s rostoucím α klesá zatížení, které dokáže těleso vydržet. Z porovnání tělesa T3 a T5 jasně plyne, že geometrie vrubu má značný vliv na únosnost (2násobné zatížení při stejném průřezu). Z porovnání výsledků vrubovaných těles plyne, že z důvodu zkrěhnutí materiálu se zvýšila pevnost v porovnání s hladkým tělesem.



Obr. 5: Závislosti napětí σ na poměrném prodloužení ϵ podchlazených a vrubovaných vzorků. Dále jsou zachyceny vzorky před a po roztržení a nepodchlazené těleso pro porovnání.

Závěr

Byl zkoumán vliv vrubů a teploty na únosnost těles z konstrukčních ocelí třídy 11. Prokázalo se, že tyto oceli za normálních podmínek jsou houževnaté a jsou schopny podstoupit velkou plastickou deformaci. Při teplotách pod přechodovou teplotou houževnatý křehký lom materiál křehne, tj. ztrácí schopnost se plasticky deformovat. V křehkém stavu jsou pro tělesa nebo konstrukce velmi nebezpečné jakékoli vruby nebo trhliny. Podařilo se dokázat, že pro špatně plastické materiály už únosnost neovlivňuje pouze průřez, ale také geometrie vrubů.

Poděkování

Děkujeme supervizorovi Ing. Adamu Jančovi za pomoc s miniprojektem, poskytnutí vědomostí a důležitých rad. Dále bychom chtěli poděkovat fakultě FJFI za zorganizování a uspořádání akce Týden vědy na jaderce a katedře KMAT FJFI za poskytnutí prostorů a materiálu pro náš miniprojekt.

Reference:

- [1] *RMS Titanic: A Metallurgical Problem* [online, cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://products.asminternational.org/fach/data/fullDisplay.do%3Fdatabase%3Dfaco%26record%3D1910%26search%3D>.
- [2] KUNZ, J.: *Aplikovaná lomová mechanika*, Vydavatelství ČVUT 2005 198s.
- [3] Hyperbolické funkce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online, cit. 2016-06-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hyperbolick%C3%A9_funkce.