

# Bylo selhání materiálu příčinou potopení Titaniku?

H. Celar, Gymnázium Nad Kavalírkou, hynek.celar@seznam.cz

L. Kotrla, Gymnázium Plasy, lukas.kotrla@seznam.cz

T. Pachlová, Gymnázium Tachov, tterciik@seznam.cz

K. Vaculovičová, Gymnázium, Brno, Vídeňská 47,

kvaculovicova@seznam.cz

## Abstrakt:

Selhání materiálu bývá často příčinou nehod, mnohdy až katastrof se ztrátami na lidských životech. Bylo tomu tak i v případě Titaniku? V literatuře se jako příčina potopení této „nepotopitelné“ lodi uvádí selhání materiálu a nevhodně navržená konstrukce. My jsme se pokusili nasimulovat podmínky zatížení materiálu plátování trupu lodi pomocí tzv. Charpyho zkoušky na oceli podobného typu. Porušená zkušební tělesa a jejich mikrostrukturu jsme pozorovali optickým a řádkovacím elektronovým mikroskopem. Ověřili jsme, že pokud je použita ocel nevhodná pro provoz za snížených teplot, konstrukce trupu nemusí odolat nárazu vinou zkřehnutí.

## 1 Úvod

Dne 14. 4. 1912 se jižně od New Foundlandu, ve vodách o teplotě  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , srazil Titanik s ledovcem o hmotnosti 3 – 6 -krát větší než jeho vlastní. Tím vznikly trhliny o celkové délce cca 100 m, jejichž celková plocha byla ovšem pouze  $1,171\text{ m}^2$  [1]. Během potápění přídě došlo k přelévání vody přes údajně vodotěsné přepážky do nepoškozených oddílů trupu. Za 2 h 40 min se kolos s výtlakem 52 310 t potopil. Z více než 2200 lidí se zachránilo pouze 705. Zbylých 1513 utonulo v chladných vodách Atlantiku. Byla tato katastrofa opravdu nevyhnutelná? Na tuto otázku jsme si pokusili odpovědět v našem miniprojektu.

## 2 Experimentální procedura

### Materiál

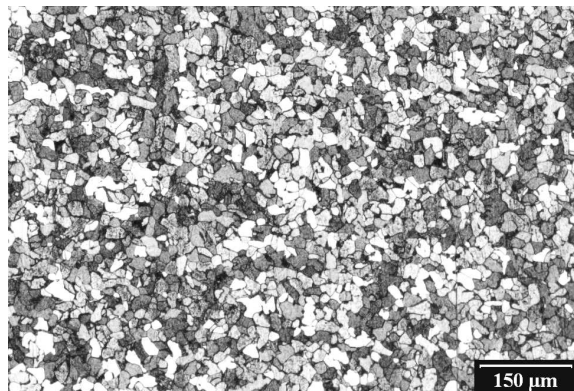
Pro nedostupnost oceli z Titaniku jsme použili nelegovanou ocel obvyklé jakosti vhodné ke svařování pro ocelové konstrukce označení ČSN 11375. Její nejdůležitější vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 1. Použitá ocel byla zvolena, protože vykazuje podobné přechodové chování, jaké měla ocel Titaniku.

Tab. 1: Mechanické vlastnosti pozorované oceli.

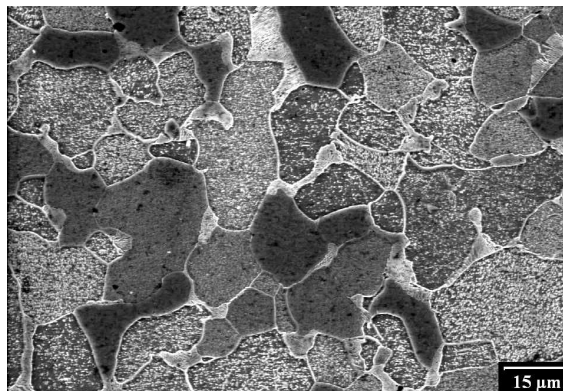
Mechanická vlastnost	Hodnota
Mez pevnosti [MPa]	340 - 470
Mez kluzu [MPa]	235
Tažnost [%]	26

Tato konstrukční ocel je polykrystalický materiál, jehož mikrostruktura je tvořena zrnny různých tvarů, velikostí a fází. Struktura ovlivňuje vlastnosti materiálu. Ke sledování mikrostruktur nám posloužil optický mikroskop NEOPHOT 32. Vzorky byly připraveny běžným metalografickým postupem. Po vyleštění diamantovou pastou byly naleptány 5% Nitalem po dobu 5 s. Námi pozorované mikrostruktury jsou dokumentovány na obr. 1 a 2.

Obr. 1: Mikrostruktura pozorovaná optickým mikroskopem.



Obr. 2: Mikrostruktura pozorovaná řádkovacím elektronovým mikroskopem.



## Charpyho zkouška

Chování materiálu v konstrukci může být výrazně ovlivněno přítomností technologických prvků (vruby, svary, nýty, ...) či defektů struktury (nehomogenita, trhliny, ...).

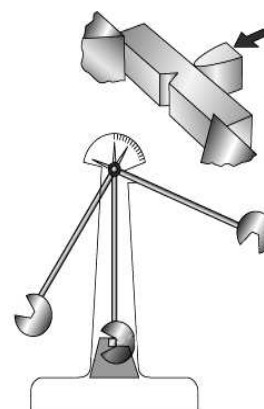
Klasická tahová zkouška je kvazistatická. Charpyho zkouška umožňuje zkoušení vzorků s vrubem při tzv. rázovém zatížení (vyšší rychlost deformace), což lépe odpovídá některým typům namáhání (např. crash-test, náraz ledovce, ...).

Princip Charpyho zkoušky spočívá v měření množství energie absorbované během přeražení přesně definovaného vzorku materiálu. U některých materiálů lze pozorovat následující jev: při snižování teploty klesá houževnatost materiálu, materiál tzv. „křehne“.

Závislost absorbované energie na teplotě nám udává tzv. přechodová křivka.

Zkoušku jsme prováděli za různých teplot. Vzorky byly ochlazovány v alkoholové lázni chlazené kapalným dusíkem. Jeden vzorek byl chlazen přímo v kapalném dusíku.

Obr. 3:  
Charpyho kladivo



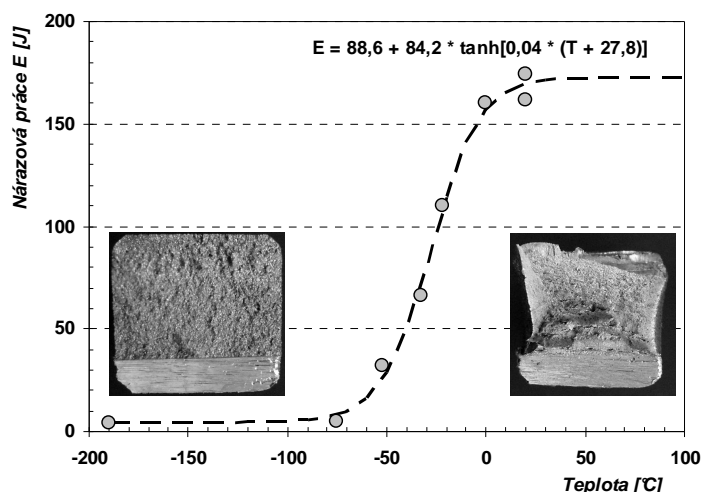
## Pozorování lomových ploch

K pozorování lomových ploch jsme použili řádkovací elektronový mikroskop JEOL JSM 840A a optický stereomikroskop.

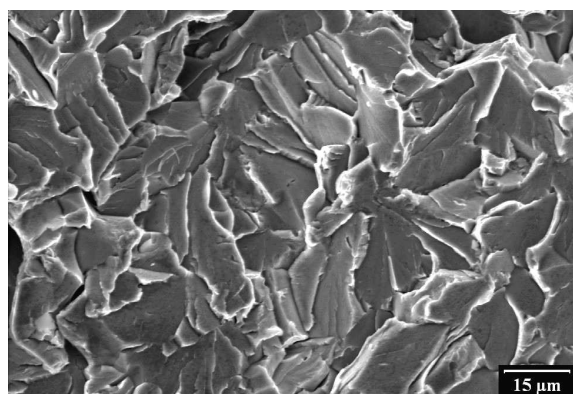
## Výsledky

Naměřená závislost hodnoty absorbované energie (nárazové práce) na teplotě je ilustrována v grafu 1. Naměřenými hodnotami byla proložena spojitá křivka. Z grafu je patrné, že s poklesem teploty došlo ke snížení houževnatosti materiálu. Odhadujeme, že přechodová teplota zkoušené oceli má hodnotu kolem  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dále jsme si ověřili, že změně mechanismu porušení přísluší změna vzhledu lomové plochy (obr. 4 a 5).

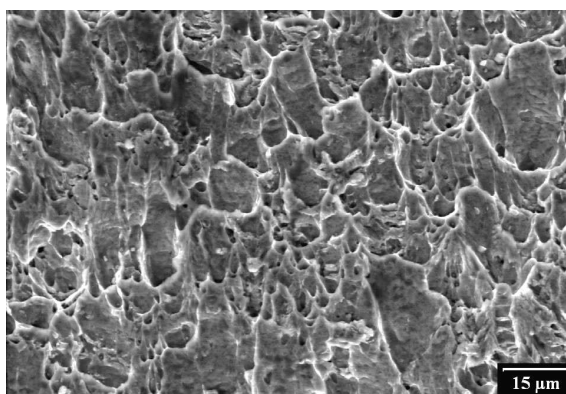
Graf 1: Přechodová křivka zkoumaného vzorku oceli



Obr. 4: Lomová plocha vzorku porušeného za teploty -190 °C pozorovaná řádkovacím elektronovým mikroskopem.



Obr. 5: Lomová plocha vzorku porušeného za teploty 20 °C pozorovaná řádkovacím elektronovým mikroskopem.

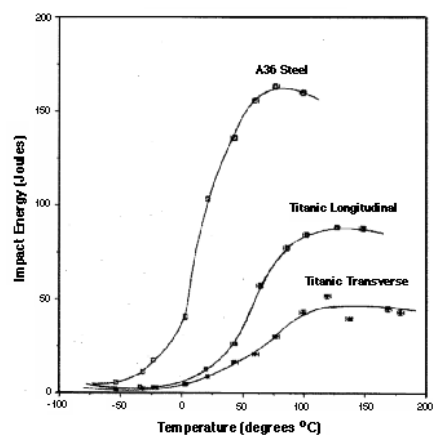


## Diskuse

Vrubovou houževnatost námi pozorované oceli lze srovnat s houževnatostí vzorků odebraných z Titaniku [1]. Na grafu 2 je uvedeno srovnání vlastností oceli z Titaniku a modernější oceli s označením A36. Z grafu je zřejmé, že u vzorků podélně orientovaných vzhledem ke směru válcování byla houževnatost výrazně vyšší než u příčně orientovaných. Modernější typ oceli má jak vyšší hodnotu vrubové houževnatosti v celém oboru měřených teplot, tak výrazně nižší přechodovou teplotu.

Při použití dnešních materiálů by trup Titaniku pravděpodobně odolal.

Graf 2: Srovnání přechodové křivky materiálu použitého na Titaniku a modernějšího oceli A36. Převzato z [1].



### 3 Shrnutí

V úvodu jsme si kladli otázku, zda byla námořní katastrofa z roku 1912 opravdu nevyhnutelná. Konstrukce trupu lodi neodolala nárazu ledovce vinou zkřehnutí materiálu plátování. Tento typ lomu ocelí s přechodovým chováním je typický, pokud je dostatečně nízká teplota a vysoká rychlost deformace. Během nárazu patrně došlo k selhání nýtů a šíření trhlin, čímž se zrychlilo zaplavování trupu.

Lze tedy konstatovat, že přes poměrně pokročilou technologii stavby byl použit nevhodný materiál pro její stavbu. Také v konstrukci byly některé prvky nevhodně navrženy, např. příčné vodotěsné přepážky trupu.

K velkému počtu obětí přispělo, že byla z estetických důvodů odstraněna druhá řada záchranných člunů. Nelze však opomenout selhání lidského faktoru, např. přílišná důvěra v nepotopitelnost lodi, špatná informovanost o výskytu ledovců v oblasti apod.

Po havárii Titaniku byla zpřísněna bezpečnostní pravidla v námořní dopravě, čímž tato nehoda paradoxně přispěla ke zvýšení bezpečnosti a zlepšení konstrukce zaoceánských lodí.

### Poděkování

Naše díky patří organizátorům Fyzikálního týdne, FJFI ČVUT, zejména katedře materiálů a v neposlední řadě našemu supervizorovi ing. Radkovi Mušálkovi.

### Reference:

- [1] FELKINS, K.: *The Royal Mail Ship Titanic: Did a Metallurgical Failure Cause a Night to Remember?* JOM 50(1), 1998, p. 12-18.
- [2] FOECKE, T.: *Metallurgy of the RMS Titanic*. IR 6118, NIST, 1998.
- [3] Materiálový list oceli ČSN 11375.
- [4] [www.matter.org.uk](http://www.matter.org.uk).