

2.6.2 Tání a tuhnutí II

Předpoklady: 2103, 2401, 2504

Pomůcky: voda, dvě PET láhve 1,5 l (naplnit tak na 1 l), ocelový drát 0,2 mm, kus ledu (regelace).

Necháváme chladnout kapalinu, která vznikla zahřátím z krystalické látky \Rightarrow při určité teplotě (u chemicky čistých látek se shoduje s teplotou tání) kapalina přestane chladnout a začne se měnit v pevnou látku (krystalizovat).

Jak tuhnutí probíhá?

V kapalině vznikají zárodečná krystalizační jádra \Rightarrow k jádrům se přidávají další částice \Rightarrow krystalky postupně rostou \Rightarrow v okamžiku ztuhnutí tvoří látku dotýkající se polykrystalická zrna.

http://www.youtube.com/watch?v=4E_5r1r6pfM

<http://www.youtube.com/watch?v=Jd9C40Svt5g&feature=related> (čas 0:44)

Pokud je zárodečné jádro pouze jedno, vytvoří se monokrystal.

Jak se mění energie částice, která se z kapaliny přichytila do krystalu?

Potenciální energie částice se zmenší (už se nemůže pohybovat v kapalině, ale je zachycena na svém místě v krystalu) \Rightarrow teplota okolí se zvýší (zachycením částice se zbytek mřížky trochu více rozkmitá) \Rightarrow při tuhnutí se uvolňuje energie.

Výroba křemíkových monokrystalů (Czochralského proces):

Do točícího se kelímku s velmi čistým roztaveným křemíkem je vložen zárodečný chlazený krystal (točí se opačně než kelímek). Díky chlazení se na něj postupně nabalují další vrstvy krystalu \Rightarrow monokrystal křemíku o průměru až 30cm a výšce 2 m.

<http://www.youtube.com/watch?v=xftnhfa-Dmo> (čas 0:30)

Co se stane, když v kapalině nebude žádné krystalizační jádro?

U některých kapalin může pokračovat ochlazování \Rightarrow přechlazená kapalina. Jakmile do přechlazené kapaliny přidáme krystalizační jádro, začne rychle krystalizovat.

Př. 1: Jak se během krystalizace mění teplota přechlazené kapaliny?

Protože se během krystalizace uvolňuje teplo, musí teplota přechlazené kapaliny stoupat (případně až k bodu tání, kde se tuhnutí zastaví).

http://www.youtube.com/watch?v=czmQ2_ymaOo&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=aC-KOYQsIvU&feature=fvw> (čas 0:55)

Na čem závisí teplota tání?

Dva druhy látek:

- ocel, olovo, vosk a většina dalších látek: při tání objem zvětšují,
- led, germanium, některé slitiny: při tání objem zmenšují.

Př. 2: Co se stane, když do roztaveného vosku hodíme kus pevného vosku?

Pevný vosk se potopí (má větší hustotu než roztavený vosk) a postupně se roztaví.

Látka během tání zvětšuje svůj objem \Rightarrow musí vykonat práci (na odstrkování okolí) \Rightarrow teplota tání závisí na tlaku (při vyšším tlaku je potřeba vykonat větší práci).

Př. 3: Rozhodni, jak závisí teplota tání na tlaku u obou druhů látek podle změny objemu během tání.

Látky, které při tání zvětšují objem: za vyššího tlaku musí látka vykonat více práce při zvětšení objemu \Rightarrow za vyššího tlaku tají při vyšší teplotě.

Látky, které při tání zmenšují objem: za vyššího tlaku okolí na látku více tlačí, aby roztála a zmenšila svůj objem \Rightarrow za vyššího tlaku tají při nižší teplotě.

Efekt není příliš výrazný. U ledu klesne při zvýšení tlaku o 100 000 Pa teplota tání o 7,3 mK.

Př. 4: Urči změnu tlaku, která je nutná k tomu, aby teplota tání ledu klesla o 1 K.

Přímá úměra:

0,0073 mK ... 100 000 Pa

1 K ... x Pa

$$\frac{x}{1} = \frac{100000}{0,0073} \Rightarrow x = 13,7 \cdot 10^6 \text{ Pa (to je 137 krát více než normální tlak)}$$

Regelace ledu

Přes kus ledu pověsíme tenký drát zatížený na obou koncích stejnou hmotností. Drát postupně projde ledem, který zůstane vcelku.

Př. 5: Vysvětli regelaci ledu.

Drát má malý průřez a je zatížen značnou hmotností \Rightarrow působí na led značným tlakem \Rightarrow snižuje se teplota tání ledu pod drátem \Rightarrow led taje \Rightarrow voda vytéká nad drát, kde je opět normální tlak a ihned mrzne.

Velký vliv na tání ledu má také tepelná vodivost drátu, který přivádí teplo z okolního vzduchu.

Proč se dá bruslit na ledu a ne na podlaze?

Pod bruslí taje led a vzniká vrstva vody \Rightarrow brusle fakticky nejede po ledu, ale po vodě.

Proč led taje?

Časté vysvětlení: Brusle má malou plochu a nese značnou hmotnost bruslaře \Rightarrow působí na led značným tlakem, snižuje jeho bod tání a led taje.

Př. 6: Najdi způsoby, jak prověřit, že bruslení umožňuje pokles teploty tání ledu.

Můžeme si spočítat tlak, kterým působí na led běžný bruslař.

Hmotnost bruslaře 80 kg, rozměry brusle 25 cm x 3 mm.

$$S = ab = 0,25 \cdot 0,003 \text{ m}^2 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{80 \cdot 10}{7,5 \cdot 10^{-4}} \text{ Pa} = 1000000 \text{ Pa}$$

Zjištěný tlak by nestačil ani na snížení teploty tání o jediný stupeň \Rightarrow při teplotách nižších než $-0,08^\circ\text{C}$ by nešlo bruslit.

Puk je velmi lehký (při porovnání s bruslařem) a dotýká se ledu poměrně velkou plochou \Rightarrow na led působí je malým tlakem, ale přesto dobře klouže.

Př. 7: Pokus se najít jiné mechanismy, které by vysvětlili vznik vodní vrstvy mezi bruslí a ledem.

Brusle se o led tře \Rightarrow koná práci a zahřívá led \Rightarrow část ledu pod bruslí taje.

Roli při bruslení hraje také fakt, že při neextrémních teplotách existuje na povrchu ledového krystalu malá vrstvička tekuté vody.

Ideální teplota ledu pro bruslení: -7°C až -9°C (led už je dostatečně tvrdý, aby se brusle příliš nepropadaly, ale není příliš studený).

Př. 8: Na ploše rybníku Svět (201 ha) se vytvořil led o tloušťce 50 cm. Urči, jak dlouho by elektrárna Temelín (výkon 2000 MW) vyráběla teplo, které voda při tuhnutí uvolnila do okolí?

Plocha rybníku $S = 201 \text{ ha} = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, $h = 0,5 \text{ m}$, $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $l_t = 334000 \text{ J}$,

$$P = 2000 \text{ MW} = 2 \cdot 10^9 \text{ J}, t = ?$$

$$Q = ml_t = V\rho l_t = Sh\rho l_t$$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow t = \frac{W}{P} = \frac{Q}{P} = \frac{Sh\rho l_t}{P}$$

$$t = \frac{Sh\rho l_t}{P} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 917 \cdot 334\,000}{2 \cdot 10^9} \text{ s} = 153\,000 \text{ s} = 42,5 \text{ hod}$$

Elektrárna Temelín by vyrobila teplo uvolněné vodou v rybníce za 42,5 hodiny.

Shrnutí: Způsob tuhnutí závisí na počtu krystalizačních jader.