

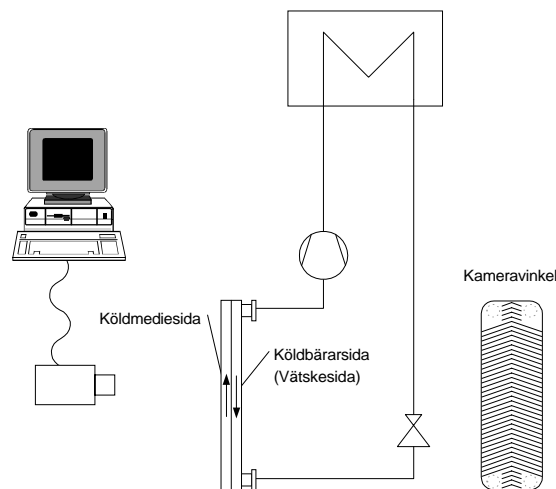
Värmeövergång och tryckfall vid förångning i små lödda plattvärmeväxlare visualiserat med hjälp av yttemperaturmätning med flytande kristaller

Joachim Claesson
Avd. för Tillämpad termodynamik och kylteknik
Inst. för Energiteknik
KTH

Inledning

Projektets mål är att erhålla en fördjupad förståelse om de mekanismer som styr tryckfall och värmeövergång vid förångning i plattvärmeväxlare, bland annat med avseende på geometrins inverkan. Målet skall uppnås med hjälp av bland annat visualiseringsförsök. Visualiseringsmetoden som i första hand kommer att användas är yttemperaturmätning med hjälp av flytande kristaller (Eng. Thermochromic Liquid Crystals, TLC). Ytan av intresse är den korrugerade platta vars andra yta är i direktkontakt med köldmediet. För detta ändamål används plattvärmeväxlare med en köldmediekanal och en vätskekanal.

Inledningsvis kommer en mycket förenklad kylanläggning att byggas. Utrustning för att registrera och analysera erhållna temperaturfält är införskaffade, bland annat en digital kamera och ett bildbehandlingsprogram. I princip (mycket förenklad) kommer labbuppställningen att se ut enligt Figur 1.



Figur 1 Principiell labbuppställning

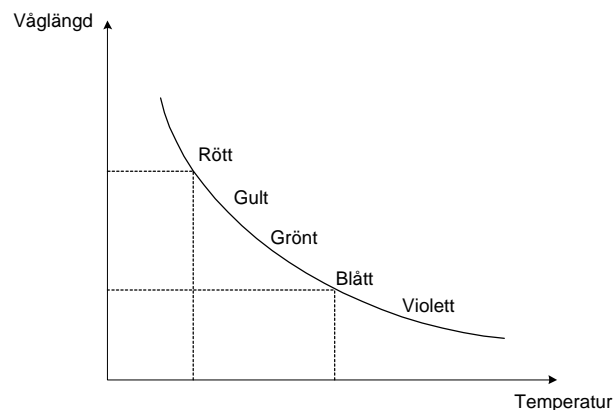
Genom att bestämma ytans temperatur kan den area som används till överhettningen bestämmas, vilket leder till ett bättre beräkningsunderlag för bestämning av värmeövergångstal både i enfas och tvåfasområdet.

Som ett första steg kommer en tvåkanalig plattvärmeväxlare att användas, vilket kan innebära att kokningsförloppet möjligen avviker från det som erhålls hos en trekanalig plattvärmeväxlare. I ett andra steg kommer en genomskinlig platta att tillverkas och läggas till befintlig plattvärmeväxlare. Då erhålls en trekanalig plattvärmeväxlare där den intressanta ytan fortfarande är synlig och ett kokförlopp hos en kommersiell plattvärmeväxlare bör

erhållas. Vidare erhålls inverkan på kokningsförloppet av ensidig värmning i förhållande dubbelsidig värmning.

Vad är flytande kristaller (TLC)

Ordet flytande kristaller kommer sig av att de uppträder mekaniskt som vätskor men optiskt har en fast kropps egenskap[1]. Vissa typer av flytande kristaller har den speciella egenskapen att de ändrar färg med temperaturen. Vid en ökande temperatur kommer, vid en given nivå, flytande kristallerna att börja reflektera rött ljus. Allteftersom temperaturen höjs reflekteras ljus med allt kortare våglängd tills en så hög temperatur nås att det reflekterade ljuset inte längre är synligt för det mänskliga ögat, se Figur 2. De temperaturer där TLC börjar och slutar att visa synligt ljus kan väljas efter behov.



Figur 2 Reflekerad våglängd som funktion av temperaturen [2]

Reflektionen av synligt ljus är reversibelt, dvs. det är för en given typ av flytande kristall samma färgvärde som reflekteras vid en given temperatur. Detta faktum kan användas för att temperaturbestämma en yta.

Mätmetod

Som nämndes tidigare har flytande kristaller en given färg vid given temperatur. Detta kan utnyttjas för att rent visuellt erhålla en uppskattning av temperaturfältet, vilket får anses som en relativt enkel och billig metod. Önskas en mer detaljerad kunskap om temperaturfältet bör en digital kamera användas. Bilden som fotograferas laddas då in i ett bildbehandlingsprogram. Programmet kan lämpligen omvandla RGB-bilder, som flertalet digitala kameror använder, till HSI-bilder. I en RGB-bild definieras färgvärdet av en kombination av de tre ingående parametrarna RGB, men i en HSI-bild definieras färgvärdet endast av parametern H vilket underlättar analysarbetet, eftersom det endast är färgvärdet som är av intresse.[1]

Vid mindre noggranna mätningar räcker det med att veta temperaturnivåerna då Röd och Blå börjar, vilket erhålls av leverantören vid köp. Temperaturskillnaden mellan Röd start och Blå start kallas bandbredd. Önskas mer noggranna mätningar måste en kalibrering utföras. Kalibrering bör utföras under samma förhållande som mätningen, för bästa noggrannhet. En bild tas för att bestämma färgvärdet vid en given, på annat sätt uppmätt temperatur. Den givna temperaturen skall varieras över hela bandbredden, med lämpligt intervall. I

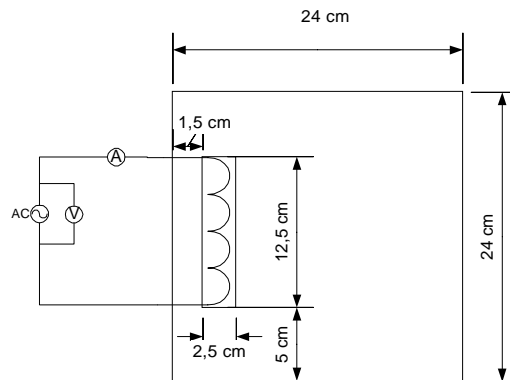
bildbehandlingsprogrammet erhålls färgvärdet på bilden, vilket sparas tillsammans med dess korresponderande temperatur. Färgvärdet används sedan under verkliga mätningar för att bestämma varje pixels temperatur.

Praktiskt kan kalibrering utföras på flera sätt, och den intresserade läsaren hänvisas till litteraturen. Det rapporteras att vid en bandbredd på $< 5^\circ\text{C}$, kan en noggrannhet på $< 0,3^\circ\text{C}$ erhållas.

Appliceringen av flytande kristaller föregås av ett lager svart färg, vilket har funktionen att förhindra störande reflexer från underliggande material.

Exempel på användningsområden

Betrakta en tunn, vertikal aluminiumplatta som värms av en värmefolie. Plattan kyls således av egenkonvektion. På plattans ena sida appliceras flytande kristaller.



Figur 3 Principiell skiss på egenkonvektiv kyld vertikal platta

Värmeövergångstalet på grund av egenkonvektion har uppskattats genom att använda beräknad medeltemperatur över plattan, $t_{yta} = 42^\circ\text{C}$. Det finns flertalet modeller för egenkonvektion[3].

$$\overline{\text{Nu}}_L = \frac{\bar{h} \cdot L}{k_{\text{luft}}} = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot \text{Ra}_L^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{\text{Pr}} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2$$

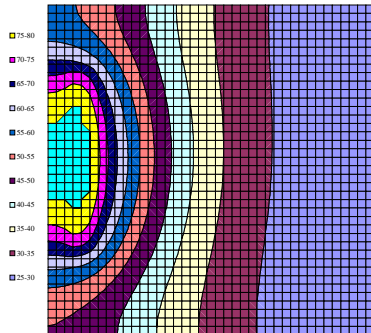
$$\text{Ra}_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_{\text{yta}} - t_{\text{luft}}) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha}; \quad \beta = \frac{1}{T_{\text{luft}}}; \quad \alpha = \left(\frac{k}{\rho \cdot c} \right)_{\text{luft}}$$

$$P_{\text{el}} = 23,8 \text{ W}, \quad t_{\text{luft}} = 20^\circ\text{C}, \quad \text{Pr} = 0,72$$

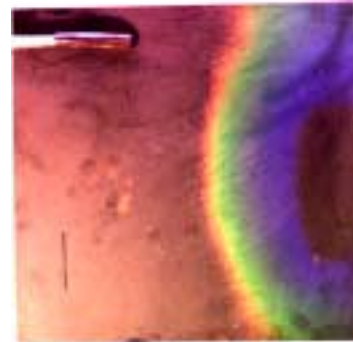
Med dessa indata erhålls $h_{\text{konv}} = 4,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, och med ett antaget värmeövergångstal på grund av strålning ($h_s = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), kan en temperaturprofil beräknas, se Figur 4.

Den beräknade temperaturprofilen uppvisar god överrensstämmelse med den fotograferade profilen, se Figur 5, vilket tyder på att det totala värmeövergångstalet är i rätt storleksordning.

$h_{\text{tot}} = 7,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, och att beräkningsmodellen är giltig. När beräkningsmodellen är verifierad kan den sedan användas för numeriska analyser av liknande fall.



Figur 4 Beräknat temperaturfält med hjälp av numerisk metod.



Figur 5 Fotografi (spegelvänd) på egenkonvektiv kyld vertikal platta.

Metoden att mäta yttemperaturen med flytande kristaller kan således användas för att verifiera en framtagen matematisk modell. Vidare kan, på liknande sätt, lokala värmeövergångstal beräknas utifrån en känd yttemperatur. Metoden har även använts internationellt för att studera olika kokningsfenomen, såsom bubbelbildning och bubbeltillväxt[4].

Referenser

- [1] Badager, M. 1998, *Flytande Kristaller, Framtagande och utvärdering av en metod för temperaturmätning*, Examensarbete, KTH, Avd. för Tillämpad termodynamik och kylteknik, E1998:248
- [2] Hallcrest, *Handbook of Thermochromic Liquid Crystal Technology*, Hallcrest Ltd. England
- [3] Incropera, F. P., DeWitt, D. P. 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-30460-3
- [4] Kenning, D.B.R. & YAN, Y. (1996), *Pool boiling heat transfer on a thin plate: features revealed by liquid crystals thermography*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol 39, pp. 3117-3137.