SIF 5036 Matematisk modellering Høsten 2002

Matematisk modellering av en gass-rørt øse for silisiumraffinering

1 Innledning

Til modelleringsseminaret er det laget en faglig beskrivelse på engelsk og et notat som generelt beskriver opplegget. I dette notatet skal vi gi noen flere tips, samt foreslå problemstillinger som vi ønsker at dere ser mer på. Vi foreslår at dere leser gjennom de to andre notatene før dere ser på dette.

Det vil være naturlig at det melder seg en viss motløshet etter å lest den faglige beskrivelsen. Problemet og fagområdet er sannsynligvis helt ukjent for dere, og for eksempel ser kjemien for slagdannelse ut til å være temmelig komplisert. Vi skal imidlertid konsentrere oss om å få innsikt i varmetekniske aspekter av prosessen, og da vil det være de enkle fysiske egenskapene til smelte, slag og øse som er viktig. Det er heller ikke snakk om å få en fullstendig løsning. Innsikt får vi også ved å gå gjennom og analysere idealiserte og enkle modell-problemer.

Når seminaret er over, kan en bruke ett minutt på å tenke gjennom følgende:

Hvilken innsikt har jeg om matematisk modellering av silisium-raffinering i en øse i dag, i forhold til hva jeg hadde for tre uker siden?

Første steget vil nå være å få klarhet i hva som foregår og hva som en skal konsentrere seg om. Vi ser gjerne at dere tar for dere ulike problemstillinger. I motsetning til kjemidelen og hydrodynamikken med omrøring ved hjelp av gassbobler, kjenner jeg ikke til literatur som spesielt behandler de aspektene av øseproblematikk som vi er interessert i. Hvis vi tar for oss prosessen i store trekk, kan vi liste opp:

Smeltemassen helles i øsa

- I hvor stor grad er det størkning av metall på veggen under fylling, og hva skjer etterhvert som tiden går?

Raffineringsprosessen starter

- Ca/Si/Al forbrennes og det frigjøres varme. Hvor viktig er dette for å holde temperaturen oppe?
- Hva utgjør varmetapet gjennom veggene?
- Hva utgjør varmetapet på grunn av stråling til omgivelsene?
- Er det egentlig så viktig å ha lokk på øsa?
- Har hullet i øsa noen betydning?

Gassinjeksjonen setter igang kjemiske reaksjoner og rører om i massen

- Gass-omrøring i kjemiske reaktorer er generelt en viktig mekanisme i kjemiteknikk. Kan en tenke seg enkle modeller for dette? (Dette problemet ser imidlertid ut til å være studert relativt grundig fra før)

Etter at øsa er fylt, fortsetter raffineringen

- Hvordan er varmebalansen da?
- Hvor mye metall/slag samles opp på innsiden av øsa, og hvordan avhenger dette av forvarmingen av øsa?

Over gassinjeksjonspluggen danner det seg en "sopp".

- Er det mulig å modellere mekanismen som lager soppen og hvordan den utvikles?

Det er klart at ingen kan rekke over å svare på alt dette i løpet av to uker, så det er nødvendig begrense seg.

2 Aktuelle problemstillinger

2.1 Generell varmemodellering

1. Estimering av varmetap og varmekilder

- stråling
- varmetap til oppvarming av veggene
- varmetap gjennom veggene
- oppvarming av nitrogen som går gjennom smelten
- avkjøling av metallet i øsa
- tilført reaksjonsvarme
- tilført smeltevarme pga. størkning av metall/slagg på veggene (se avsnitt 2.2)

2. Bestemmelse av tidsskalaer

Tidsskalaer knyttet til

- strålingstapet
- oppvarming av smelta ved oksyderingen (forbrenningen)
- varmetapet fra smelta ved "stajonær" temperaturgradient i veggene

3. Oppsetting av en enkel simuleringsmodell

Her tenker vi oss en enkel modell, som skissert på figur 1, for varmebalansen i øsa der det er mulig å eksperimentere med ulik isoleringevne i veggene, lokk/ikke-lokk, gasstilførsel og varme fra oksydasjonen.

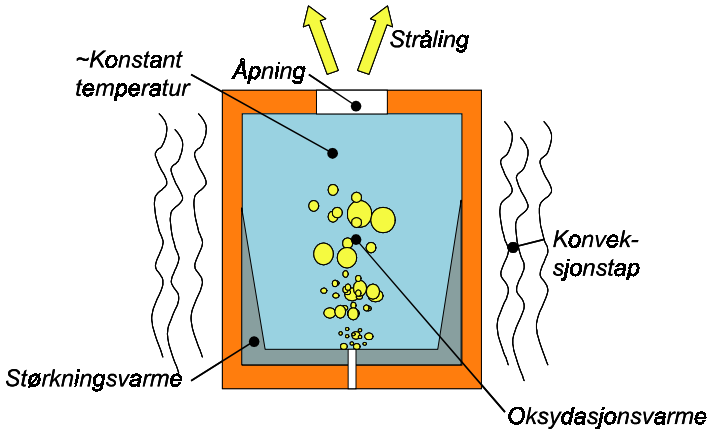


Figure 1: Enkel modell av øsa.

I modellen vil det være greit å anta at veggen er homogen, og at fluksen gjennom veggen er gitt av en gjennomsnittlig varmeledningskoeffisient og temeraturdifferensen. Randbetingelsen kan være konveksjonsbetingelser eller konstant temperatur. I første omgang kunne en også se bort fra at metall og slagg størkner på veggene.

Hensikten med modellen, som beskriver temperaturutviklingen i øsa som funksjon av tiden, vil være å optimalisere driften.

4. Raffinering av modellen

Modellen kan raffineres på ulike måter. Varmetransporten gjennom veggene vil være transient, men det vanskelig å si hva dette betyr uten å ha gjort noen overslag. Her kunne det være mulig å benytte Femlab til detaljstudier, eventuelt sette sammen en full radiell modell.

2.2 Avsetning av metall og slagg under raffineringen

Dette er et interessant delproblem som er noe beslektet med eksemplet fra stålplateproduksjonen i Fowkes og Mahony. Det er naturlig først å modellere det endimensjonale problemet under de forenklede antagelser som gir oss en similaritetsløsning. Deretter kan en bygge denne løsningen inn i en enkel simuleringsmodell som beregner hvordan situasjonen blir når vi fyller øsa og etterpå når raffineringsprosessen fortsetter. Det er sannsynlig at similaritetsløsningen kun er gyldig akkurat i starten, og kanskje må en ty til andre teknikker for større tider. Det vil være interessant å lage en modell der en kan eksperimentere med temperaturen på veggen og komme fram til et uttrykk for avsatt masse som funksjon av veggtemperaturen.

I praksis prøver en å unngå avsetning på veggene ved å forvarme øsa, men dette krever også energi og må avveies mot gevinsten.

2.3 Modellering av soppen over pluggen for gassinjeksjonen

I følge samtalene med Elkem, er dette delprosjektet, så vidt jeg vet, nybrottsland. Vi har før tenkt på en modell som skissert på fig. 2. Her er det sfærisk symmetri, og med passende randkrav burde det være mulig å gjøre noe med denne modellen. I modellen er det både masse- (gassgjennomstrømning) og varmetransport. Randbetingelsene blir noe spesielle: På indre rand kan en

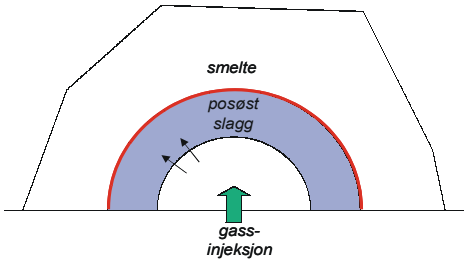


Figure 2: Enkel sopp-modell i sfærisk geometri.

se bort fra stråling siden det er sannsynlig at alle veggene i gasslommen har samme temperatur. Massefluksen er gitt av gass-strømmen, mens den totale varmefluksen er 0 over indre rand, siden enhver varme som forsøker å komme ut blir dratt med inn igjen av gasstrømmen. De ytre randbetingelse er mer kompliserte siden det også dannes oksyd og frigjøres reaksjonsvarme på denne grensa, som altså beveger seg med tiden. En kan tenke seg å forenkle situasjonen til en nesten stasjonær løsning, men vi har ikke kommet tilbunns i dette.

2.4 Modellering av omrøringen

Problemet er grundig behandlet i literaturen, men det kunne være interessant å modellere dette i FEMLAB. Det vil antagelig kreve en nyere utgave av programmet enn den vi har, og hvis noen av dere er interessert, kan vi sannsynligvis få en tidsbegrenset lisens av COMSOL.

3 Avsluttende kommentar

Disse modelleringsoppgavene er slett ikke enkle, og selv om faglærer har noe erfaring med oppgaven, har vi på ingen måte svarene klare på forhånd.

Start seminaret med å diskutere i gruppa hva dere ønsker å arbeide med. På forhånd er det imidlertid umulig å si hvor godt en vil lykkes. For å komme i gang, må en forenkle til det banale. Deretter kan kompleksiteten økes litt etter litt.

Ikke tenk på karakter og eksamen under seminaret. Også en gruppe som har mislykkes med alt den prøver på vil få toppkarakter så lenge det går fram at en har prøvd så godt en kan!