AMT
Afdelingen for Mekanisk Teknologi
Danmarks tekniske Højskole
bygn. 425
2800 Kgs. Lyngby

MODELTEKNIK

af

H.B. Pedersen

1. Formålet med modelteknikken

Formålet med modelteknikken kan deles i to områder, nemlig en pædagogisk og en industriel-praktisk. Jeg skal ikke her beskæftige mig nærmere med den pædagogiske, men alene koncentrere mig om den praktiske. Eftersom deformationsformgivningen er i en rivende udvikling, er det af stor betydning at have en så stor viden som muligt om de processer, der bruges heri, og her kan modelteknikken komme til at spille en stor rolle.

For at klargøre dette vil jeg gerne give et eksempel. Det drejer sig om et forsøg udført af Cook så tidligt som i 1953, hvor han undersøgte prægning i stål. Til at undersøge, om denne prægningssituation kunne modelleres, brugte han stoffet plasticine, hvis egenskaber jeg skal komme tilbage til; her vil det være tilstrækkeligt at vide, at det er et modelleragtigt materiale, der bruges i legetøjsindustrien.

Cook fremstillede da en plade af plasticine bestående af lag af forskelligfarvet plasticine, som ses på fig.1.

Nu har omtrent samme deform. hærdning exp. som stål ved 1100°C men værdierne var meget lave for $\sigma \sim 1$ g/cm²

Fig. 1.

Samtidig fremstillede han en stålblok af de samme dimensioner, ned igennem hvis midte han borede en række huller, hvis diameter var 3 mm, og hvis centerafstand var 6 mm, disse huller fyldtes nu med 1/8 inch stålwire. Stålblokken ses på fig.1.

Derefter deformeredes både plasticineblokken og stålblokken ved prægning af værktøjer, der havde de samme dimensioner.

Hvis man nu polerer og ætser den deformerede stålblok, bliver stålwirerne tydeligt synlige. De er nu deformerede og er blevet elipseformede, og man kan ved at måle centerafstanden og store- og lilleaksen i de deformerede wirer finde tøjningerne ned langs stålblokkens symmetrilinie. På den deformerede plasticineblok måles derefter lagenes tykkelse ned gennem symmetrilinien, og ved at sammenligne med tykkelsen før deformationen kan man finde tøjningsfordelingen langs symmetrilinien.

Ved at sammenligne tøjningsfordelingen for plasticine og stål finder man, at den stemmer forbavsende godt overens. Det kan da konkluderes, at plasticine viser visse egenskaber, der ligner ståls og altså i visse situationer kan bruges som modelmateriale for stål.

Denne konklusion har vidtrækkende konsekvenser, idet det er klart, at det er af stor betydning, at man kan undersøge deformationsformgivningssituationer med et materiale, der som plasticine har en lav flydespænding, og som derfor ikke behøver høje kræfter til sin deformation, og som kan give oplysninger om, hvordan stål vil opføre sig under tilsvarende omstændigheder.

Nu er plasticine imidlertid ikke det eneste brugbare modelmateriale. Vi har på AMT arbejdet med flere, og jeg skal prøve at gennemgå disses egenskaber og evner, fortrin og ulemper.

Materialer

Plasticine er som tidligere nævnt et modeller materiale, hvis opbygning er:

Aske (Al_2O_3, Fe_2O_3 og SiO_2)	62,7 %
Æteropl.stof (paraffin og olie)	30,8 %
Svovl	1 %
Rest (fugtighed m.m.)	5,5 %

tallene angiver vægtprocenter.

Flere har prøvet at tilnærme plasticinens arbejdslinie til et matematisk udtryk.

Altan, Henning og Sabroff har fået:

$$\sigma = 0{,}936 \cdot \varepsilon^{0.348} \text{ kp/cm}^2$$

Mens Brill har:

$$\sigma = 0{,}75\,\varepsilon + 1{,}25 \text{ kp/cm}^2$$

for $\varepsilon > 1$ altså en tilnærmelsen til en ret linie.

Plasticines egenskaber er ret uafhængigt af tøjningshastigheden. Endvidere er stoffet ret plastisk, idet man kan opnå ret høje tøjninger, uden at der opstår brudfænomener.

Et andet materiale, der har været arbejdet meget med i den sidste tid på AMT, er filia.

Dette er ligeledes et modeller materiale, som i lighed med plasticinen viser deformationshærdning. Vi har prøvet at tilnærme filia's arbejdslinie til et matematisk udtryk. Dette bliver:

$$\sigma = 2{,}10 \cdot \varepsilon^{0{,}26} \text{ kp/cm}^2$$

Filia er i modsætning til plasticine smeltbart, og derfor umiddelbart nemmere at fremstille i de ønskede former.

Et tredie materiale vi har arbejdet med er almindeligt handelsparaffin. Dette kan under visse omstændigheder bruges som et eksempel på et idealplastisk materiale, idet det ved 31°C har en så godt som vandret arbejdslinie og en flydespænding på ca. 4 kp/cm^2; da det imidlertid er stærkt temperaturfølsomt, har det rent praktisk en mindre interesse. Derimod har paraffin gode egenskaber for at være modelmateriale for værktøjet, idet der med paraffinens brudspænding på ca. 20 kp/cm^2 i forhold til et materiale som filia, hvis flydespænding er 1 kp/cm^2 opnås cirka det samme forhold i spændinger, som findes i mange praktiske deformationsformgivningssituationer mellem værktøjet og materialet.

Målemetoder

Efter denne korte gennemgang af modelmaterialer vil det være på sin plads at nævne nogle af de målemetoder, der bruges til at undersøge de interessante størrelser.

Disse målemetoder deler sig i målemetoder til værktøjet og målemetoder til emnet.

Af målemetoder som er brugbare på emnet, er visioplasticity metoden den vigtigste. Dennes princip er følgende:
På det emne, der skal deformeres, optegnes et netværk. Hvis man betragter de enkelte netpunkters flytning under deformationen, se fig. 2.

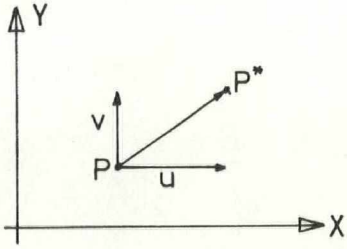

Fig. 2.

har man:

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{du}{dx}\ ,\ \dot{\varepsilon}_y = \frac{dv}{dy}\quad \dot{\gamma}_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}$$

$$\dot{\bar{\varepsilon}} = \frac{2}{3}\sqrt{\dot{\varepsilon}_x^2 + \dot{\varepsilon}_y^2 + \dot{\varepsilon}_x\dot{\varepsilon}_y + \frac{3}{4}\dot{\gamma}_{xy}^2}$$

vi kan nu udregne $\dot{\varepsilon}$ på grundlag af disse ligninger og ved garfisk at finde $\frac{du}{dx}$ og $\frac{dv}{dy}$ ved optegnelse af $u = u(x)$ $v = v(y)$, $u = u(y)$ og $v = v(x)$

Til bestemmelse af tøjninger har vi:

$$\bar{\varepsilon} = \int_s^t \dot{\bar{\varepsilon}} \cdot dt = \int \dot{\bar{\varepsilon}} \frac{ds}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

hvor s er buelængden langs en strømlinie. Hvis man tilnærmer denne til små rette liniestykker får man:

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} \dot{\bar{\varepsilon}}_i ds}{\sqrt{u_i^2 + v_i^2}}$$

ved at optegne $\dot{\varepsilon} = f(s)$ kan man ved summation af arealerne under kurven udregne $\bar{\varepsilon}_i$.

Efter at have bestemt tøjningerne kan man bestemme flydespændingerne ud fra det anvendte modelmateriales arbejdslinie.

Temperaturændringer under processen kan også udregnes under visse antagelser:

det udførte arbejde under processen er:

$$W = \int_0^{\varepsilon} \sigma\, d\,\varepsilon$$

Hvis vi nu antager, at materialet er idealplastisk, kan ovenstående udtryk skrives som:

$$W = \sigma \cdot \varepsilon$$

Den afsatte varme kan da bestemmes som:

$$Q = c \cdot \rho \cdot \Delta T$$

og da man fra varmeteoriens 1. hovedsætning har:

$$Q = \Delta U + W$$

og idet vi antager $\Delta U = 0$ får vi:

$$\sigma \cdot \varepsilon = c \cdot \rho \cdot \Delta T$$

eller:

$$\Delta T = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{c \cdot \rho}$$

Hermed har vi set, at vi udfra de deformerede netværkspunkter kan beregne $\dot{\varepsilon}$, ε, σ og ΔT.

Vi skal nu skitsere fremgangsmåden ved beregning af de tilsvarende størrelser i værktøjet.

Denne fremgangsmåde bygger på spændingsoptikkens love.

Et normalt spændingsoptisk udstyr består af en aralditmodel med lysgiver og polarisator på den ene side og analysator og iagttager på den anden side, se fig. 3. En alternativ målemetode tilbydes imidlertid ved hjælp af det såkaldte refleksionspolariskop. Princippet i målingen er, at en aralditplade

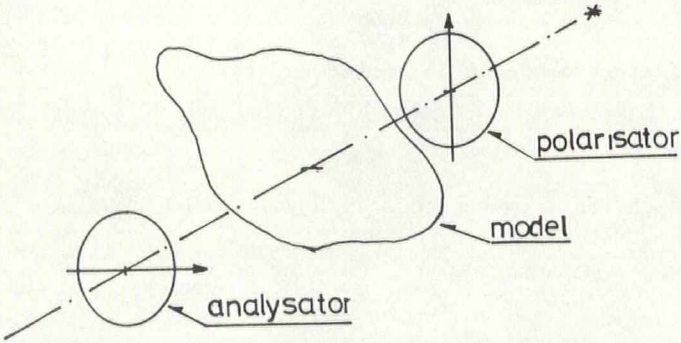

Fig. 3.

med max. tykkelse ca. 5 mm klæbes på den maskindel, der skal undersøges. Påklæbningen foretages med en lim, som danner en reflekterende baggrund for araldittten, som deformeres med maskindelen ved belastning af denne.

Refleksionspolariskopet består derfor af en belysningsenhed med polarisator og ved siden af denne befinder analysator sig.

Den udsendte polariserede stråle får altså dobbelt gennemløb i araldittpladen ved refleksionen i limlaget.

Dette princip er udnyttet ved modelteknikken, idet der er konstrueret en modelpresse, hvor 20 mm voksplader deformeres under plan tøjningstilstand mellem en blank stålplade og en acrylglasplade, således at alle bevægelser foregår i planer parallelle med disse to.

Ved at deformere med værktøjer udskåret af 20 mm tykke araldittplader opnår man at kunne betragte de spændingsoptiske linier i værktøjet ved hjælp af AMT's refleksionspolariskop, idet den gennemløbne araldittpladetykkelse er 40 mm.

Systematik

Der er nu nævnt dels nogle modelmaterialer og dels nogle målemetoder. Spørgsmålet er da, hvordan man i en given deformationsformgivningssituation finder frem til netop det modelmateriale og bruger netop de målemetoder, der vil give de optimale resultater.

En sådan udvælgelsessystematik vil jeg nu prøve at skitsere. Denne er opstillet i diagramforn på fig. 4. En deformationsformgivningssituation består af tre forskellige dele. Hovedmaterialet, processen og analysemålet. For at undersøge analysemålet er det nødvendigt med en målemetode; udfra analysemålets karakter vælges da en passende målemetode. Valget af en målemetode har nu begrænset mulighederne for hvilke modelmaterialer vi kan bruge. Vi står altså nu med et udvalg af brugbare modelmaterialer.

Hvis vi ser på rubrikken hovedmaterialer og proces, ser vi, at disse tilsammen danner en række klassifikationskriterier (hvis art og opbygnining jeg senere skal vende tilbage til), som begrænser mulighederne for valg af modelmaterialer i den givne situation.

Vi har nu to sæt mulige modelmaterialer, og fællesmængden af disse, udgøres da af de materialer, der er velegnede til brug i den givne deformationsformgivningssituation.

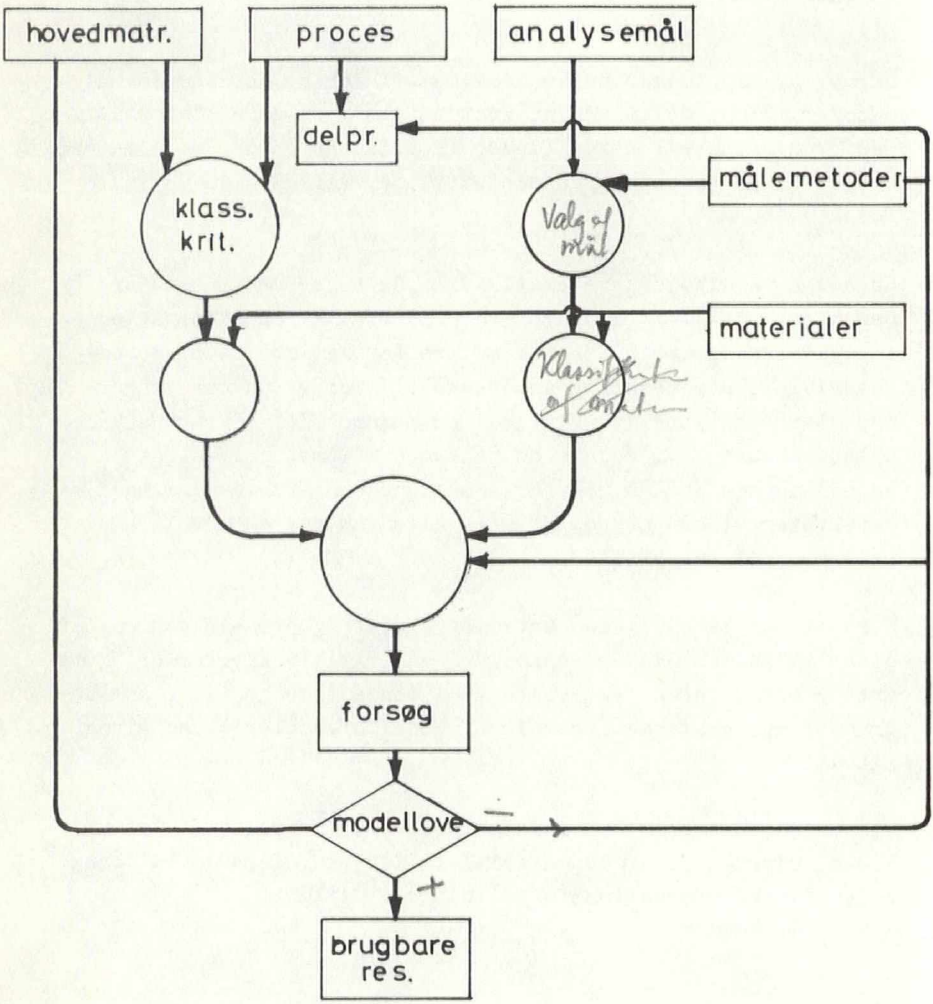
hovedmatr.
proces
analysemål
delpr.
klass.
krit.
målemetoder
materialer
forsøg
modellove
brugbare
res.

Fig. 4.

Område	Påvirkn.	Arbejdslinie	Friktions-koeff.	Eksempler på mat.
Plastiske område	Høje påvirkninger $\sigma > 20$ kp/cm^2	for def.hard. $\sigma = C_1 \cdot \dot{\varepsilon}^n + C_2$	< 0,4	Aluminium
			> 0,4	Aluminium Plaststof-fer
		for strøm-bærb. $\sigma = C_1 \cdot \dot{\varepsilon}^n + C_2$	< 0,4	Bly
			> 0,4	Plaststof-fer
	Lave påvirkninger $\sigma < 20$ kp/cm^2	for def.hard. $\sigma = C_1 \cdot \dot{\varepsilon}^n + C_2$	< 0,4	Plasticine
			> 0,4	Plasticine
		for strøm-bærb. $\sigma = C_1 \cdot \dot{\varepsilon}^n + C_2$	< 0,4	Plastellina Paraffin-voks Natrium
			> 0,4	Plaststof-fer
Elastiske område	Høje påvirkninger $\sigma > 20$ kp/cm^2			Aluminium Plaststof-fer
	Lave påvirkninger $\sigma < 20$ kp/cm^2			Plastellina Plasticine Natrium Plaststof-fer

Fig. 5.

Vi udfører nu vore forsøg med det valgte materiale; gennem modellove sammenligner vi med hovedmaterialeegenskaberne. Herefter er der to muligheder: enten er man tilfreds med udfaldet, og man har da fundet et velegnet modelmateriale, eller man er ikke tilfreds, i hvilket tilfælde der er flere muligheder. Man kan gå tilbage til målemetoderne og vælge en ny, hvorved man får en anden gruppe materialer at arbejde med, eller man kan gå helt tilbage til processen og inddele denne i simplere delprocesser. Besværet med at finde et velegnet modelmateriale vil naturligvis i høj grad afhænge af de krav om overensstemmelse med hovedmaterialet, man vil stille. Jo strengere disse krav er, jo sværere vil det givetvis være at finde et velegnet materiale.

Lad os et øjeblik vende tilbage til klassifikationskriterierne. Som det ses af fig. 4, fremkommer disse som bindingerne fra proces og hovedmateriale til modelmaterialer.

Som det ses på fig. 5, kan vi stille disse bindinger op i skemaform. Først deles efter, om processen foregår i det plastiske eller det elastiske område, idet det bringer to vidt forskellige grupper materialer i betragtning. Derefter deles efter, hvorvidt der er tale om høje eller lave påvirkninger. Det er naturligvis i høj grad arbitrært, hvad man vil anse for høje påvirkninger; i dette tilfælde er grænsen sat til $\simeq 20\ kp/cm^2$.

Det næste, der inddeles efter, er, om hovedmaterialets arbejdslinie nærmest kan tilnærmes et af følgende to udtryk:

$$\sigma = C_1 \cdot \bar{\varepsilon}^n + C_2 \qquad (1)$$

$$\sigma = C_1 \cdot \dot{\bar{\varepsilon}}^n + C_2 \qquad (2)$$

altså om hovedmaterialet er deformationshærdende eller deformationshastighedsafhængigt, idet modelmaterialet må følge samme slags arbejdslinie som hovedmaterialet, og der må være overens-

stemmelse mellem hovedmaterialets og modelmaterialets deformationshærdningseksponent.

Endelig er størrelsen af den opnåelige friktionskoefficient brugt som kriterium. Man kunne naturligvis inddele videre efter flydelove, flydekriterier o.s.v. Men det har næppe nogen mening på modelteknikkens nuværende stade.

Som afslutning skal der gives et eksempel, der viser, hvorledes modelteknikken i praksis virker. Problemet er, om det er muligt at formgive emnet, som ses på fig. 6 i en operation.

For at undersøge dette laves en plan analogi, hvor vi lader emnet simulere af modelmaterialet plastellina, som påmales netværk, således at visioplasticity metoden kan anvendes, mens værktøjet fremstilles af det spændingsoptiske materiale Araldit B.

Deformationen gennemføres nu, idet den trinvise fremskriden af deformationen affotograferes.

Ved hjælp af spændingsoptik udregnes spændingerne i værktøjsdelene, og ved hjælp af visioplasticity metoden udregnes spændingerne i emnet.

Hvis vi ser på værktøjet, kan man kort konkludere, at der optræder store spændinger i matriceholderen, hvor emnet i en gaffelgren trykkes op i hjørnet mellem stempel og matriceholder. Disse spændinger bevirker store uregelmæssige spændinger ved den modsatte rand.

For matricen gælder, at spændingerne veksler skiftevis mellem tryk- og trækspændinger. Det tyder på, at matricen påvirkes af vridende momenter fra voksens tryk under deformationen, og at matriceholder og understøttelsen ikke er i stand til at modvirke disse momenter.

For emnet gælder, at området under stempeltungen er stærkt deformeret, og at der optræder brudfænomener her. For at undgå disse brud synes en forsmedning med efterfølgende udglødning at være påkrævet.

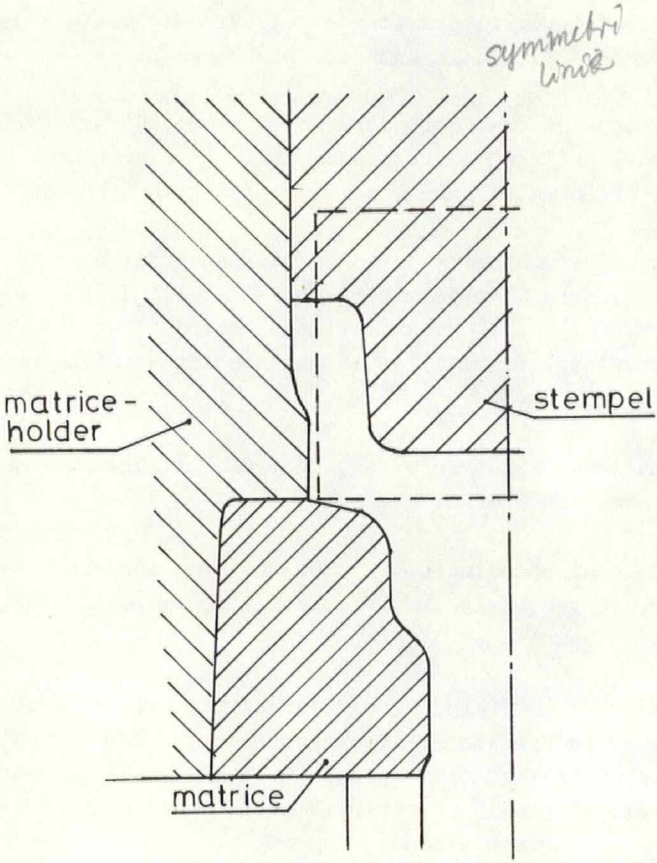

Fig. 6.