

EKSAMEN / SENSORVEILEDNING

Emnekode: IRM13112	Emnenavn: Materiallære og tilvirkningsteknikk, deleksamen tilvirkningsteknikk
Dato: 24 juni 2019 Sensurfrist: 14 juni 2019	Eksamenstid: 3 timer
Antall oppgavesider: 3 Antall vedleggsider: 2	Faglærer: Olav Aaker Oppgaven er kontrollert: Ja
Hjelpemidler: Skrivesaker, kalkulator, arbeidsmappe med øvinger SENSORVEILEDNING: Veiledning til sensor/ løsningsforslag i RØDT.	
Om eksamensoppgaven: Dersom du savner opplysninger som er nødvendige for å kunne løse oppgavene, bruk symboler eller rimelige verdier med begrunnelse. Oppgi alle svar i SI enheter hvis annet ikke er spesifisert. Kontakttelefon eksamensdagen: 94 80 64 30	
Kandidaten må selv kontrollere at oppgavesettet er fullstendig	



1: Noen spørsmål (20%)

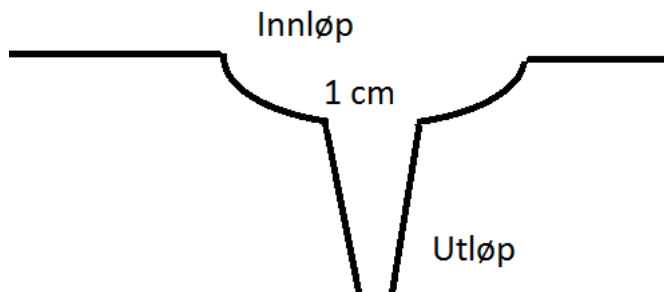
Svar kort på følgende spørsmål (Kort betyr at kandidaten forventes å si det vesentlige med få ord, det forventes ingen dyptgående forklaring).

1. Hva er typisk forskjell i metallstruktur ved støping og smiing?/ Ved støping blir det en krystallstruktur som avhenger av hvordan metallet har stivnet. Strukturen blir da den samme i alle retninger. Ved smiing påvirkes strukturen av bearbeidingen, og hvilke retninger bearbeidingen har foregått i.
2. Hvorfor er det ikke ønskelig å ha lange spon ved maskinering?/ Dette gir problemer ved at sponene kan sette seg fast, og komme i veien for verktøyet. Spesielt problematisk ved CNC maskiner. Ved manuell bearbeiding kan operatøren fjerne spon, dette blir likevel ekstraarbeid.
3. Hva er en løsegg?/ På engelsk BUE (Built Up Edge), materiale som legger seg på eggen av skjæreverktøy og hindrer det i å skjære ordentlig.
4. Hva forteller Bernoullis ligning om?/ Forhold mellom trykk, hastighet og høyde i forhold til et referansepunkt for en strømmende væske.
5. Hvorfor trenger vi Reynolds tall i forbindelse med støping?/ Vi kan regne ut Reynolds tall for å finne ut om strømming er turbulent eller laminær.
6. Hvordan er egenskapene ved pulvermetallurgi i forhold til støping?/ Ved pulvermetallurgi blir tettheten typisk lavere enn ved støping. Man kan oppnå spesielle materialegenskaper ved å blande ulike typer pulver. Ved støping smeltes metallet slik at det blir flytende, ved pulvermetallurgi varmes det slik at partiklene blir myke og forbinder seg med hverandre.
7. I mange tilfeller lages deler ved maskinering når man lager få eksemplarer, mens støping brukes til å lage større partier av et gitt produkt. Kan du tenkte deg hvorfor?/ Ved støping må det lages former som koster mye penger. Dette kan forsvares ved stort produksjonsvolum. Ved maskinering kan standard verktøy brukes, det må tilpasses det enkelte produkt. Ved maskinering er det typisk mer svinn av råmateriale enn ved støping. På grunn av verktøykostnader foretrekkes maskinering ved små produksjonsvolum, mens støping foretrekkes ved store volum på grunn av materialkostnader.
8. Et rør som bøyes 90 grader får gjerne en vinkel som er mindre enn 90 grader. Derfor må man bøye røret mer enn 90 grader hvis endelig vinkel skal være 90 grader. Hvorfor?/ Fordi noe av bøyingen vil foregå i det elastiske området, og materialet vil rette seg ut litt etter oppnådd bøy.
9. Forklar hva «kontinuitetsligningen» er./ Den er oppgitt i vedlegget. Den sier at hvis volumstrømmen er konstant vil strømningshastigheten

variere avhengig av tverrsnittsarealet. Ligningen brukes til å regne ut strømningshastigheten.

10. Hvordan er materialforbruk ved pulvermetallurgi i forhold til maskinering? / Materialforbruket er lavere, på samme måte som ved støping. Dette fordi det i prinsippet ikke er nødvendig å fjerne så mye materiale.

2: Utforming av støpeform (25%)



Figur 1. Av plasshensyn er ikke proporsjonene på tegningen riktige. Riktige mål er gitt, eller skal regnes ut i oppgaven

Nedløpet i en sandform er som vist på figur 1. Følgende data gjelder for metallet som skal støpes:

- Tetthet: 7.6 g/cm^3
- Dynamisk viskositet: $2.75 \cdot 10^{-3} \text{ pa} \cdot \text{s}$

Nedløpet er 5 cm høyt. Diameter ved innløpet er 1 cm. Spørsmål:

1. Hva bør diameter ved utløpet være? Anta at innløpet er 2 cm under overflaten, og utløpet er 7 cm under overflaten av det flytende metallet./

Her brukes ligningen: $\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$, Hvis vi lar index 2 representere innløpet:

$$\frac{D_1^2}{1^2} = \sqrt{\frac{2}{7}} \text{ (Kommentar: Areal er } \frac{\pi}{4} D^2 \text{ og } \frac{\pi}{4} \text{ i teller og nevner forkortes.)}$$

Høyde og diameter er i centimeter, under rottegnet forkortes disse måleenhetene). Resultat: $D_1 \approx 0.73$.

2. Hva er strømningshastighet (m/s) nederst i nedløpet? Anta at diameter er slik at designligningen for nedløp er oppfylt. Dette vil tilsvare hastigheten hvis metallet faller fritt./ For å løse dette trengs Bernoullis ligning. I dette tilfellet antas strømningshastighet ved overflaten å være null, trykket er det samme ved innløp og utløp. Da reduseres Bernoulliligningen ved de to punktene til følgende uttrykk som gir hastighet ved utløp (Toricellis ligning): $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * 9.81 * 0.07} = 1.17$ (måleenhet blir her m/s). Studenten får her pluss for å bruke Bernoullis ligning, men også poeng for å bruke Toricellis ligning direkte.
3. Hva er Reynolds tall ved utløpet? Anta at utløpet er sirkulært, og har diameter lik 0.5 cm./ Dette er en innsetningsoppgave, studenten må passe på å bruke riktige enheter så svaret blir dimensjonsløst. Med SI enheter

for alle størrelser blir det: $\frac{7600 * 1.17 * 0.5 * 10^{-2}}{2.75 * 10^{-3}} \approx 16000$. Strømmingen er altså turbulent.

Hvis du ikke greier å regne ut (1), fortell hvilke(e) forml(er)/ sammenheng(er) som bør brukes for utregningene. Relevante formler finnes i vedlegget til denne oppgaven.

3: Maskinerings hastighet og verktøyslitasje (25%)

Et emne skal dreies fra diameter 50mm til diameter 49mm.

Følgende data gjelder for dreilingen:

- $V = 325 \text{ m/min}$
- Mating = 0.1 mm/ omdreining

1. Hvor lang tid tar det å dreie en aksling som er 200 mm lang?/ Her må man finne omdreiningshastighet, RPM, man dreier 0.1 mm/ omdreining, så man må dreie 2000 omdreininger for å dreie 200 mm. Dybden på kuttet blir 0.5 mm når diameteren skal reduseres med 1 mm. Studenten kan her resonnerer ut fra grunnleggende geometri, eller bruke formel fra vedlegget: $\frac{325 \cdot 1000}{\pi \cdot 49} \approx 2100 \text{ RPM}$. Med dette tar 2000 omdreininger $(2000/2100)$ minutter = $(2000/2100) \cdot 60 = 57$ sekunder (cirka 1 minutt).
2. Taylors ligning gjelder for verktøyslitasje. For dette verktøyet er $n=0.2$, og verktøylevetid er 15 minutter. Hvis verktøyhastighet reduseres til 300 m/min, hva blir verktøylevetid?/ Dette er en ren innsetningsoppgave. Man får ligningen: $300 \cdot T^{0.2} = 325 \cdot 15^{0.2}$, $T = \left(\frac{325 \cdot 15^{0.2}}{300}\right)^{1/0.2}$, dette gir $T \approx 22$ minutter.
3. Når verktøyhastighet reduseres øker levetiden, men produksjonsraten går ned. Får man fjernet mer spon før verktøyet er utslitt ved å redusere hastigheten i oppgaven ovenfor? Begrunn med et regneeksempel./ Mating og kuttdybde er det samme i begge tilfeller. Ved hastighet $V=325 \text{ m/min}$ og levetid 15 min beveger skjæret seg $325 \cdot 15 = 4875$ meter. Ved hastighet 300 m/min og levetid 22 min beveger skjæret seg $300 \cdot 22 = 6600$ meter. Følgelig får man fjernet mer spon.

(Hint: Se i vedlegg for å finne Taylors ligning og andre nyttige formler ved behov)

4: Pulvermetallurgi (15%)

Du skal produsere en del med pulvermetallurgi. Forklar hvordan du vil gå frem for å gjøre følgende:

1. Finne ut hvor mye pulver du trenger.
2. Beregne nødvendig kraft for å presse sammen pulveret.

/ Her skal man forklare hva som må gjøres, selve utregningene trengs ikke (det er heller ikke oppgitt tall). Kort forklaring for spørsmål 1 og 2:

1. Ta utgangspunkt i tetthet for ferdig del. Da finner man mengden pulver. Hvis man vil regne ut volum av pulver, trenger man tettheten av pulveret også.
2. Dette avhenger av geometrien på delen, man må først finne ut hvilket trykk delen må presses sammen med basert på relevante tabeller/diagrammer. Trykk er kraft/areal, så kraften avhenger av hvilket areal man trykker mot.

Forklar selve produksjonsprosessen, hvilke trinn den består av, og hva som skal gjøres i hvert trinn. / Her henvises til lærebok, Serope / Kalpakjian «Manufacturing engineering and Technology», 7 utgave, kapittel 17.

Studenten honoreres skjønnsmessig etter hvor god/ grundig forklaring som er gitt.

5: Vurdering av ulike produksjonsmetoder (15%)

Et tannhjul, diameter 10 cm, tykkelse 2 cm skal produseres. Materialet er en metallegering. Følgende tilvirkningsmetoder er tilgjengelige:

1. Pulvermetallurgi
2. Støping
3. Maskinering

Din jobb er å velge tilvirkningsmetode for dette tannhjulet. Spørsmål:

Forklar hva du vil vurdere for å ta en avgjørelse om produksjonsmetode. Er det en metode som er best, eller vil dette avhenge av andre forhold, eksempelvis produksjonsvolum?

/ Studenten bør her vise kunnskap om de ulike tilvirkningsmetodene, og evne til å sammenligne dem. Besvarelsen vurderes skjønnsmessig etter hvilken forståelse studenten viser.

Vedlegg: Formler

Bernoullis ligning:

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = Const$$

$$mgh + pV + \frac{mv^2}{2} = Const$$

Kontinuitetsligningen:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Areal og trykkhøyde:

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

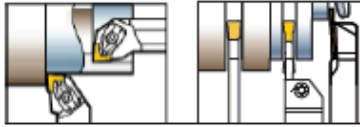
Reynolds tall:

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Taylors ligning:

$$V_1 T_1^n = V_2 T_2^n$$

Formulas and definitions



Turning

Cutting speed (v_c)
(m/min)

$$v_c = \frac{D_m \times \pi \times n}{1000}$$

Spindle speed (n)
(rpm)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

Metal removal rate (Q)
(cm³/min)

$$Q = v_c \times a_p \times f_n$$

Net power (P_c)
(kW)

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{60 \times 10^3}$$

Machining time (T_c)
(min)

$$T_c = \frac{l_m}{f_n \times n}$$

Specific cutting force (k_c)
(N/mm²)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

Average chip thickness (h_m)

Round inserts
(mm)

$$h_m = \frac{360 \times f_n \times a_p}{IC \times \pi \times \arccos\left(1 - \frac{2 \times a_p}{IC}\right)}$$

Note: arccos in degrees

Insert shapes: C, D, S, T, V, W
(mm)

$$h_m = r_n \times \sin \kappa_r$$

Max. chip thickness (h_{ex})

Round inserts
(mm)

$$h_{ex} = r_n \times \sqrt{\frac{4 a_p}{IC} \times \left(\frac{2 a_p}{IC}\right)^2}$$

Insert shapes: C, D, S, T, V, W
(mm)

$$h_{ex} = r_n \times \sin \kappa_r$$

Profile depth (R_{max})
(μ m)

$$R_{max} = \frac{r_n^2 \times 125}{r_z}$$

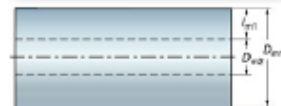
Spiral Cutting Length (SCL)

External or internal (straight) turning
(m)

$$SCL = \frac{D_m \times \pi}{1000} \times \frac{l_m}{f_n}$$

Facing
(m)

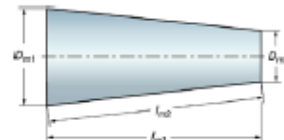
$$SCL = \left(\frac{D_{m1} + D_{m2}}{2} \times \frac{\pi}{1000}\right) \times \frac{l_{m1}}{f_n}$$



Taper cutting
(m)

$$SCL = \left(\frac{D_{m1} + D_{m2}}{2} \times \frac{\pi}{1000}\right) \times \frac{l_{m2}}{f_n}$$

$$l_{m2} = \sqrt{l_{m1}^2 + \left(\frac{D_{m1} - D_{m2}}{2}\right)^2}$$



Parameter	Meaning	Metric unit
D_m	Machined diameter	mm
a_p	Depth of cut (D.O.C.)	mm
f_n *)	Feed per revolution	mm/r
v_c	Cutting speed	m/min
n	Spindle speed	rpm
P_c	Net power	kW
Q	Metal removal rate	cm ³ /min
T_c	Machining time	min
l_m	Machined length	mm
h_m	Average chip thickness	mm
h_{ax}	Maximum chip thickness	mm
k_c	Specific cutting force	N/mm ²
k_{c1}	Specific cutting force valid for $h_m = 1$ mm	N/mm ²
m_c	Correction factor for actual h_m	
κ_r	Entering angle	degree
γ_0	Chip rake angle	
r_z	Nose radius	mm
R_{max}	Profile depth	μ m
SCL	Spiral Cutting Length	m

*) In parting and grooving, f_{rx} (radial feed) and f_{rz} (axial feed) are also used.