

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua  
Sidang Akademik 2005/2006

April/Mei 2006

**EPP 332/3 - Proses Pembuatan Termaju**

Masa : 3 jam

---

**ARAHAN KEPADA CALON :**

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat dan **TUJUH (7)** soalan serta **SATU (1)** lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

Sila jawab **LIMA (5)** soalan. **SATU (1)** soalan dari **Bahagian A**, dan **DUA** soalan dari **Bahagian B** dan **C**.

Calon dibenarkan menjawab semua soalan dalam **Bahasa Inggeris** ATAU **Bahasa Malaysia** ATAU kombinasi kedua-duanya.

**Lampiran**

- 1) Lampiran : Rumus [1 mukasurat]

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

...2/-

**BAHAGIAN A**

Nyatakan kenyataan dibawah samaada benar atau salah.

*State whether the following statements are true or false.*

- S1. [a] Seramik kaca adalah struktur seramik polihablur yang telah ditukarkan kepada keadaan berkaca.

*Glass ceramics are polycrystalline ceramic structures that have been transformed into the glassy state.*

- [b] Apabila darjah penghabluran sesuatu polimer yang diberi meningkat, polimer tersebut akan menjadi lebih tumpat dan lebih kukuh, dan suhu leburnya akan menurun.

*As the degree of crystallinity in a given polymer increases, the polymer becomes denser and stiffer, and its melting temperature decrease.*

- [c] Suatu struktur molekul bercabang adalah lebih kuat di dalam keadaan pepejal dan lebih likat di dalam keadaan cecair berbanding dengan struktur linear bagi polimer yang sama.

*A branched molecular structure is stronger in the solid state and more viscous in the molten state than a linear structure for the same polymer.*

- [d] Perbezaan asas di antara polietilena berketumpatan rendah dan polietilena berketumpatan tinggi ialah polietilena berketumpatan tinggi mempunyai darjah penghabluran yang tinggi.

*The basic difference between low density polyethylene and high density polyethylene is that the latter has a much higher degree of crystallinity.*

- [e] Proses tekan-dan-tiup adalah yang paling sesuai bagi penghasilan botol minuman (leher yang sempit), manakala proses tiup-dan-tiup pula lebih sesuai untuk menghasilkan jar (mulut yang lebar).

*The press-and-blow process is best suited to the production of (narrow-necked) beverage bottles, while the blow-and-blow process is more appropriate for producing (wide-mouthed) jars.*

- [f] Pergerakan kehadapan sesuatu cecair polimer di dalam tong penyemperitan dihalang oleh aliran seretan, yang disebabkan oleh rintangan terhadap aliran yang melalui orifis acuan.

*The forward movement of polymer melt in an extruder barrel is resisted by drag flow, which is caused by the resistance to flow through the die orifice.*

...3/-

- [g] Dalam acuan pemusingan, daya empar digunakan untuk memaksa cecair polimer pada permukaan rongga acuan di mana berlakunya pemejalan.

*In rotational molding, centrifugal force is used to force the polymer melt against the surfaces of the mold cavity where solidification occurs.*

- [h] Pemotongan jet air adalah salah satu cara pemotongan atau pentriman FRP tidak terawat atau terawat; di dalam kes FRP terawat, proses ini dinyatakan bertujuan untuk mengurangkan habuk dan kebisingan.

*Water jet cutting is one of several ways of cutting or trimming uncured or cured FRPs; in the case of cured FRPs, the process is noted for its reduction of dust and noise.*

- [i] Penekanan semula merujuk kepada operasi kerja tekan yang digunakan untuk memampat bahan yang belum disinter di dalam acuan tertutup untuk mendapatkan saiz dan kemasan permukaan yang lebih baik.

*Repressing refers to a pressworking operation used to compress an unsintered part in a closed die to achieve sizing and better surface finish.*

- [j] Aplikasi pemesinan alur elektron adalah terhad kepada bahan kerja logam disebabkan oleh keperluan supaya kerja tersebut mempunyai pengaliran elektrik.

*Applications of electron beam machining are limited to metallic work materials due to the need for the work to be electrically conductive.*

- [k] Penganodan merupakan proses pengoksidaan.

*Anodizing is an oxidation process.*

- [l] Penyaduran anodik dan penyaduran penukaran kromat merupakan kaedah rawatan permukaan yang paling sesuai untuk bahan daripada Aluminium.

*Anodic coating and chromate conversion coating is the most suitable surface treatment for material from aluminum.*

- [m] Walaupun proses pengerasan letupan melibatkan tekanan sehingga 35GPa, kekerasan permukaan yang dapat ditingkatkan hanyalah 5%.

*Even though explosive hardening process involves pressure up to 35GPa, only 5% surface hardness can be increased.*

- [n] Cat boleh dikelaskan kepada tiga iaitu enamel, lacquers dan cat berasaskan air.

*Paint can be classified into three; enamel, lacquers and water-base paint.*

- [o] Dalam penyaduran seramik, bahan yang tersadur akan bertindak sebagai penghadang terma.

*In ceramic coating, coated material act as thermal barrier.*

- [p] Pembentukan sejuk merupakan proses di mana kepingan atau billet bahan termoplastik dibentuk ke dalam bentuk 3-dimensi pada suhu didih bahan berkenaan.

*Cold forming is a group of processes in which sheets or billets of thermoplastics materials are formed into three-dimensional shapes at boiling temperature of the material.*

- [q] Elastomer boleh bersikap seperti polimer dari segi pemrosesan dan ciri, akan tetapi ia juga boleh bersikap seperti getah dari segi fungsi dan prestasi.

*Elastomer can acts as polymer in terms of processing and characteristics, but at the same time can acts as rubber in terms of function and performance.*

- [r] Langkah yang terlibat dalam proses acuan pemusingan ialah pengecasan acuan diikuti oleh pemanasan acuan dan penyejukan acuan. Kemudian acuan perlu dipanaskan semula sebelum komponen ditolak keluar.

*Steps involve in rotational molding are mold charging, followed by mold heating and mold cooling. After that mold need to reheat before part is ejected.*

- [s] Antara kelebihan bahan termoset ialah ia memiliki ciri rayapan yang rendah dan kestabilan dimensi yang amat baik.

*Some of the advantages of thermosets are they have very little creep and excellent dimensional stability characteristics.*

- [t] Berbanding dengan pembentukan vakum, kaedah pembentukan tekanan untuk proses pembentukan-terma, komponen yang dihasilkan lebih rumit, proses dapat dilakukan dengan lebih cepat dan suhu yang dikenakan lebih rendah.

*Compared to vacuum forming, pressure forming method for thermoforming process, parts produced are more complex, faster and temperature is lower.*

(100 Markah)

**BAHAGIAN B**

- S2. [a] Sebuah tong penyemperitan berdiameter 120 mm dan panjang 3.0 m. Kedalaman saluran skru ialah 8.0 mm, dan pic ialah 95 mm. Kelikatan cecair polimer ialah 75 Pas, dan tekanan turus di dalam tong ialah 4.0 Mpa. Bagi mendapatkan kadar aliran isipadu 90 cm<sup>3</sup>/s, kirakan kelajuan putaran yang diperlukan oleh skru tersebut.

*An extruder barrel has a diameter of 120 mm and a length of 3.0 m. The screw channel depth is 8.0 mm, and its pitch is 95 mm. The viscosity of the polymer melt is 75 Pas, and the head pressure in the barrel is 4.0 MPa. To achieve a volumetric flow rate of 90 cm<sup>3</sup>/s, calculate the rotational speed of the screw required.*

(30 Markah)

- [b] Dimensi yang ditentukan ialah 100.00 mm untuk sesetengah komponen yang terhasil daripada pengacuanan suntikan yang dibuat daripada nylon-6.6. Kirakan dimensi yang sepadan supaya rongga acuan boleh dimesin dengan menggunakan nilai pengecutan yang diberikan di dalam Jadual S2[b].

*The specified dimension is 100.00 mm for a certain injection molded part made of nylon-6.6. Compute the corresponding dimension to which the mold cavity should be machined, using the value of shrinkage given in Table Q2[b].*

**Jadual S2[b]- Nilai Tipikal Pengecutan Bagi Pengacuanan Termoplastik Terpilih**

*Table Q2[b]- Typical Values of Shrinkage for Moldings of Selected Thermoplastics*

<b>Plastik Plastic</b>	<b>Pengecutan mm/mm Shrinkage mm/mm</b>
<b>ABS ABS</b>	<b>0.006</b>
<b>Nylon-6,6 Nylon-6,6</b>	<b>0.020</b>
<b>Polikarbonat Polycarbonate</b>	<b>0.007</b>
<b>Polietilena Polyethylene</b>	<b>0.025</b>
<b>Polistrin Polystyrene</b>	<b>0.004</b>
<b>PVC PVC</b>	<b>0.005</b>

(20 Markah)

...6/-

- [c] Suatu acuan penyemperitan untuk polietilena digunakan di dalam pengacuanan tiupan yang berdiameter purata = 16.0 mm. Saiz bagi bukaan gelang di dalam acuan = 1.5 mm. Diameter purata bagi 'parison' diperhatikan mengembang sehingga saiz 20.5 mm selepas keluar daripada orifis acuan. Jika diameter bagi bekas acuan tiupan ialah 100 mm, tentukan:

- i) ketebalan dinding yang sesuai bagi bekas dan
- ii) ketebalan dinding bagi 'parison' tersebut

*The extrusion die for a polyethylene parison used in blow molding has a mean diameter = 16.0 mm. The size of the ring opening in the die = 1.5 mm. The mean diameter of the parison is observed to swell to a size of 20.5 mm after exiting the die orifice. If the diameter of the blow molded container is to be 100 mm, determine:*

- i) *the corresponding wall thickness of the container and*
- ii) *the wall thickness of the parison.*

(30 Markah)

- [d] Suatu operasi penyemperitan digunakan untuk menghasilkan 'parison' yang berdiameter purata 27 mm. Diameter dalam dan diameter luar bagi sebuah acuan yang menghasilkan 'parison' adalah 18 mm dan 22 mm. Jika ketebalan dinding minimum bagi bekas acuan tiupan ialah 0.40 mm, kirakan diameter maksimum bagi acuan tiupan.

*An extrusion operation is used to produce a parison whose mean diameter is 27 mm. The inside and outside diameters of the die that produced the parison are 18 mm and 22 mm, respectively. If the minimum wall thickness of the blow molded container is to be 0.40 mm, calculate the maximum possible diameter of the blow mold.*

(20 Markah)

- S3. [a] Tentukan faktor bentuk untuk partikel logam bagi bentuk ideal yang berikut:

- i) sfera
- ii) kubus
- iii) silinder dengan nisbah panjang kepada diameter 1:1,
- iv) silinder dengan nisbah panjang kepada diameter 2:1, dan
- v) kepingan cakera yang mempunyai nisbah ketebalan kepada diameter 1:10.

*Determine the shape factor for metallic particles of the following ideal shapes:*

- i) *sphere,*
- ii) *cubic,*
- iii) *cylindrical with length-to-diameter ratio of 1:1,*
- iv) *cylindrical with length-to-diameter ratio of 2:1, and*
- v) *a disk-shaped flake whose thickness-to-diameter ratio is 1:10.*

(40 Markah)

...7/-

- [b] Sebuah kiub pepejal aluminium dengan setiap sisinya 1.0 m ditukarkan kepada serbuk logam yang berbentuk sfera oleh pengabusan gas. Jika diameter bagi setiap partikel ialah 0.1 mm (anggap bahawa semua partikel mempunyai saiz yang sama), kirakan luas permukaan keseluruhan yang termasuk dalam proses.

*A solid cube of aluminum with each side is 1.0 m is converted into metallic powders of spherical shape by gas atomization. If the diameter of each particle is 0.1 mm (assume that all particles are the same size), calculate the total surface area added by the process*

(30 Markah)

- [c] Luas kerja hadapan elektrod ialah 2000 mm<sup>2</sup> dalam sesetengah operasi ECM di mana arus yang dikenakan ialah 1800 amp dan voltan yang dikenakan pula ialah 12 volt. Bahan yang akan dipotong ialah nikel (valen = 2), di mana kadar penyingkiran tentu C diberi dalam Jadual S3[c].

Tentukan:

- i) kadar penyingkiran logam (dalam mm<sup>3</sup>/min) jika kecekapan proses 90%
- ii) jarak kerja jika keberintangan elektrolit 140 ohm-mm

*The frontal working area of the electrode is 2000 mm<sup>2</sup> in a certain ECM operation in which the applied current is 1800 amps and the voltage is 12 volts. The material being cut is nickel (valence = 2), whose specific removal rate C is given in Table Q3[c].*

Determine:

- i) the rate of metal removal ( in mm<sup>3</sup>/min) if the process is 90% efficient.
- ii) the working gap if the resistivity of the electrolyte is 140 ohm-mm.

**Jadual S3[c]: Nilai tipikal kadar penyingkiran tentu C bagi bahan kerja terpilih dalam pemesinan elektrokimia**

*Table Q3[c] Typical values of specific removal rate C for selected work materials in electrochemical machining*

<b>Bahan Kerja</b> <i>Work Material</i>	<b>Kadar Penyingkiran Tentu C</b> $\text{mm}^3/\text{amp-sec}$ <i>Specific Removal Rate C</i> $\text{mm}^3/\text{amp-sec}$
<b>Aluminium (3)</b> <i>Aluminum (3)</i>	$3.44 \times 10^{-2}$
<b>Kuprum (1)</b> <i>Copper (1)</i>	$7.35 \times 10^{-2}$
<b>Besi (2)</b> <i>Iron (2)</i>	$3.69 \times 10^{-2}$
<b>Nikel (2)</b> <i>Nickel (2)</i>	$3.42 \times 10^{-2}$
<b>Keluli :</b> <i>Steels :</i>	
<b>Aloi Rendah</b> <i>Low Alloy</i>	$3.00 \times 10^{-2}$
<b>Aloi Tinggi</b> <i>High Alloy</i>	$2.73 \times 10^{-2}$
<b>Tahan karat</b> <i>Stainless</i>	$2.46 \times 10^{-2}$
<b>Titanium (4)</b> <i>Titanium (4)</i>	$2.73 \times 10^{-2}$

(30 Markah)

- S4. [a] Suatu operasi pemesinan nyahcas elektrik dilakukan terhadap tungsten. Takat lebur,  $T_m$ , tungsten adalah  $3410^\circ\text{C}$ .
- i) Tentukan jumlah penyingkiran logam di dalam operasi selepas 1 jam pada arus nyahcas = 20 amp.
  - ii) Jika bahan kerja adalah timah (takat lebur adalah  $232^\circ\text{C}$ ), tentukan jumlah penyingkiran bahan dalam masa yang sama.

...9/-

*An electric discharge machining operation is being performed on tungsten. The melting point,  $T_m$ , of tungsten is  $3410^\circ\text{C}$ .*

- i) Determine the amount of metal removed in the operation after one hour at a discharge amperage = 20 amps.*
- ii) If the work material were tin (melting point is  $232^\circ\text{C}$ ), determine the amount of material removed in the same time.*

(30 Markah)

- [b]** Operasi wayar EDM dilakukan ke atas keluli C1080 yang berketebalan 7 mm menggunakan wayar elektrod tungsten berdiameter 0.125 mm. Pengalaman yang lepas menunjukkan bahawa pemotongan lebih adalah sebanyak 0.02 mm, dengan itu lebar 'kerf' adalah sebanyak 0.165 mm. Dengan menggunakan arus nyahcas = 10 amp dan suhu lebur keluli C1080 adalah  $1500^\circ\text{C}$ , berapakah kadar suapan yang dibenarkan dalam operasi?

*A wire EDM operation performed on 7 mm thick C1080 steel uses a tungsten wire electrode whose diameter 0.125 mm. Past experience suggests that the overcut will be 0.02 mm, so that the kerf width will be 0.165 mm. Using a discharge current = 10 amps and the melting point of C1080 steel is  $1500^\circ\text{C}$ , what is the allowable feed rate that can be used in the operation?*

(30 Markah)

- [c]** Pengisaran kimia digunakan di dalam kilang yang menghasilkan pesawat udara untuk membuat poket-poket pada bahagian sayap yang menggunakan aloi aluminium. Ketebalan permulaan bagi satu komponen kerja yang dikehendaki ialah 20 mm. Suatu siri poket berbentuk segiempat tepat dengan kedalaman 12 mm dibentuk dengan dimensi 200 mm x 400 mm. Bahagian penjuror setiap segi empat berjejari 15 mm. Komponen terdiri daripada aloi aluminium dan bahan punar ialah NaOH. Kadar penembusan bagi kombinasi ini ialah 0.024 mm/min dan faktor punar ialah 1.75.

Tentukan:

- i)** kadar penyingkiran logam dalam  $\text{mm}^3/\text{min}$ ,
- ii)** masa yang diperlukan bagi mesin untuk mendapatkan kedalaman yang tertentu,
- iii)** dimensi yang diperlukan bagi bukaan dalam pemotongan dan pengupasan 'maskant' untuk memperolehi saiz poket yang dikehendaki pada komponen tersebut.

...10/-

*Chemical milling is used in an aircraft plant to create pockets in wing sections made of an aluminum alloy. The starting thickness of one workpart of interest is 20 mm. A series of rectangular-shaped pockets 12 mm deep are to be formed with dimensions 200 mm by 400 mm. The corners of each rectangle are radiused to 15 mm. The part is an aluminum alloy and the etchant is NaOH. The penetration rate for this combination is 0.024 mm/min and the etch factor is 1.75.*

*Determine:*

- i) metal removal rate in mm<sup>3</sup>/min,*
- ii) time required to machine to the specified depth,*
- iii) required dimensions of the opening in the cut and peel maskant to achieve the desired pocket size on the part.*

**(40 Markah)**

### **BAHAGIAN C**

- S5. [a] Penyarduran mekanikal memainkan peranan yang penting dalam aplikasi termaju seperti sistem dorongan. Berikan DUA (2) fungsi penting penyarduran untuk aplikasi sebegini.**

*Mechanical coating plays important roles in advanced application such as propulsion system. Give TWO (2) important functions of coating for such application.*

**(20 Markah)**

- [b] Dengan bantuan lakaran, terangkan mana-mana DUA (2) teknik penyarduran mekanikal yang biasa digunakan.**

*With the aid of sketches, explain any TWO (2) of the most common mechanical coating techniques.*

**(50 Markah)**

- [c] Penyemburan terma merupakan salah satu teknik penyarduran mekanikal dengan menggunakan pistol sembur. Pelbagai jenis logam, aloi, karbida dan seramik yang mana dikenakan pada permukaan logam. Terdapat banyak kelebihan penyemburan terma. Berikan DUA ciri bagi setiap teknik penyemburan terma yang berikut:**

- i) Plasma**
- ii) HVOF**
- iii) Wayar api**

*Thermal spraying is one of the mechanical coating techniques using spray gun. Various metals, alloys, carbides and ceramics are applied to metal surfaces using this technique. There are many advantages of thermal spraying. Give TWO characteristic of each of the following techniques:*

- i) Plasma
- ii) HVOF
- iii) Flame wire

(30 Markah)

- S6. [a] Dewasa ini, kebanyakan komponen dihasilkan daripada plastik. Selain murah, plastik juga lebih ringan, mudah dihasilkan dan boleh dibentuk kepada bentuk yang rumit. Pengacuanan suntikan merupakan antara proses yang digunakan secara meluas dipelbagai industri. Dengan bantuan lakaran, huraikan langkah demi langkah proses-proses yang terlibat dalam proses pengacuanan suntikan.

*Nowadays, most of parts are made of plastics. Besides saving cost, plastic parts are also lighter, easy to manufacture and can be made into complex parts. Injection molding is one of the processes being used widely to produce plastics parts in various industries. With the aid of sketches, describe step by step the various stages of the injection molding process.*

(50 Markah)

- [b] Nyatakan DUA (2) perbezaan antara mesin pengacuanan suntikan mendatar dan menegak.

*State TWO (2) differences between horizontal and vertical injection molding machine.*

(10 Markah)

- [c] Dalam rekabentuk acuan bagi proses pengacuan suntikan, terdapat beberapa bahagian asas acuan yang perlu di reka bentuk dengan baik.

- i) Senaraikan mana-mana TIGA (3) bahagian utama acuan tersebut.
- ii) Bagi setiap bahagian, nyatakan DUA (2) parameter penting yang akan mempengaruhi prestasi produk.

*In mold design for injection molding process, several major components need to be designed properly.*

- i) List any THREE (3) main components of the mold.
- ii) For each of component, state any TWO (2) important parameters, which affect the product performance.

(40 Markah)

...12/-

- S7. [a] Dengan bantuan lakaran, huraikan proses penyemperitan untuk menghasilkan paip PVC.

*With the aid of sketches, describe the extrusion process to produce PVC pipe.*

(30 Markah)

- [b] Anggapkan beg plastik yang diperbuat dengan menggunakan proses tiupan filem dengan nisbah pengembangan 2.5, mempunyai dimensi kelebaran 400 mm

- i) Kira diameter dai penyemperitan?  
 ii) Beg-beg ini secara relatifnya kuat. Bagaimanakah kekuatan ini dicapai?

*Assume that a typical plastic bag, made by blown film, with expansion up ratio of 2.5, has a lateral (width) dimension of 400 mm.*

- i) *Calculate be the extrusion die diameter?*  
 ii) *These bags are relatively strong. How is this strength achieved?*

(30 Markah)

- [c] Kebanyakan komponen plastik yang sekata dan berterusan seperti tiub paip dihasilkan daripada proses penyemperitan. Akan tetapi untuk aplikasi tertentu seperti bahan kimia, permukaan dalam paip perlu disadur. Penyaduran mekanikal yang boleh diaplikasi pada permukaan plastik adalah seperti elektro-saduran, saduran tanpa elektrik dan pembentukan elektrik. Dengan memberi justifikasi, cadangkan kaedah penyaduran terbaik untuk aplikasi tersebut.

*Most of the continuous uniform plastics parts such as pipe tube are made of extrusion process. For certain application such as in chemical industries, internal surface of the pipe need to be coated. Mechanical coating which can be applied to a plastics surface are electroplating, electroless plating and electroforming. By giving justification, suggest the best coating technique for this application.*

(40 Markah)

LAMPIRAN  
APPENDIXRumus  
Equations

$\tau = \eta \dot{\gamma}$ or $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$	$Q_d = 0.5 vdw$	$r_s = \frac{D_x}{D_d}$
$D_c = D_p + D_p S + D_p S^2$	$Q_b = \frac{\pi D d_c^3 \sin^2 A}{12\eta} \left( \frac{dp}{dl} \right)$	$\tan A = \frac{p}{\pi D}$	$d = d_c$
$w = w_c = (\pi D \tan A - w_f) \cos A$	$Q_x = Q_d - Q_b$	$v = \pi DN \cos A$	$Q_x = K_s p$
$w_c = \pi D \tan A \cos A = \pi D \sin A$	$Q_b = \frac{p \pi D d_c^3 \sin^2 A}{12\eta L}$	$K_s = \frac{\pi D d_c^4}{128\eta L d}$	$r_{st} = \frac{t_p}{t_d}$
$Q_d = 0.5 \pi^2 D^2 N d_c \sin A \cos A$	$p_{\max} = \frac{6\pi D N L \eta \cot A}{d_c^2}$	$r_{sd} = \frac{D_p}{D_d}$	$r_{st} = r_{sd}^2$
$Q_x = 0.5 \pi^2 D^2 N d_c \sin A \cos A - \frac{p \pi D d_c^3 \sin^2 A}{12\eta L}$	$\pi D_p t_p = \pi D_m t_m$	$t_m = \frac{D_p t_p}{D_m}$	$t_p = r_{sd}^2 t_d$
$Q_{\max} = 0.5 \pi^2 D^2 N d_c \sin A \cos A$	$t_m = \frac{r_{sd}^3 t_d D_d}{D_m}$	$p = \frac{2\sigma t_m}{D_m}$	$\sigma = \frac{pD}{2t}$
$Q_x = Q_d - Q_b = 0$ , so $Q_d = Q_b$	$t_m = \frac{r_{sd}^3 t_d D_d}{D_m}$	$PS = \frac{1}{MC} - t_w$	$A = \pi D^2$
$Q_x = Q_{\max} - (Q_{\max}/p_{\max})p$	$\frac{A}{V} = \frac{6}{D}$	$F = A_p p_c$	$V = \frac{\pi D^3}{6}$
$D_c = D_p + D_p S + D_p S^2$	$\frac{A}{V} = \frac{K_s}{D}$ or $K_s = \frac{AD}{V}$	$V = CI t$	$R = \frac{gr}{A}$
Porosity + Packing factor = 1.0	$I = \frac{EA}{gr}$	$V = \frac{C(EAt)}{gr}$	$F_e = \frac{d}{u}$
$Fe + O \rightarrow FeO + \text{heat}$ $3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + \text{heat}$ $2Fe + 1.5O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + \text{heat}$	$MRR = \frac{KI}{T_m^{1.23}}$	$A = F_e = \frac{d}{u}$	$f_r = \frac{CI}{A}$