

【07】金属部門

10時30分～12時30分

Ⅲ 次の35問題のうち25問題を選択して解答せよ。(解答欄に1つだけマークすること。)

Ⅲ－1 高炉（溶鉱炉）製鉄プロセスで使用されるコークスに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 高炉の通気性保持に適した高強度のコークスを製造するために、強粘結炭を適切に配合した原料炭が用いられる。
- ② 高炉内中央部には、コークス同士が焼結して作られた緻密な組織からなる炉芯コークス層があり、これにより主に炉内が適切に冷却されて過熱を防いでいる。
- ③ コークス製造時の乾留工程では、原料炭からメタンガスや水素ガス等が発生する。これらを高炉での水素還元に活用する技術開発が進められている。
- ④ 酸化鉄とコークス中の炭素との直接還元反応は吸熱反応であるため、炉内における熱補償の観点で望ましくない。
- ⑤ コークスを補う還元材として、微粉炭や廃プラスチックが使用されることがある。

Ⅲ－2 非鉄金属の生産プロセスに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 亜鉛の乾式製錬法であるISP法では、亜鉛精鉱と鉛精鉱を脱硫焼結した焼結鉱をコークスで還元し、生成する亜鉛ガスを熔融鉛中に吸収する。その後、熔融Pb-Zn合金を冷却して亜鉛を得る。
- ② 銅の自溶炉製錬では、硫化鉱の粉精鉱と予熱空気を吹き込む。精鉱自身の燃焼で発生する熱で熔融し、上層がマット、下層がスラグからなる2液層に分離する。
- ③ アルミニウム製錬では、氷晶石にフッ化アルミニウムを添加した熔融塩に原料の酸化アルミニウムを溶解し、黒鉛電極を用いて電解を行う。
- ④ 半導体用シリコンの製造では、工業用シリコンを塩化水素と反応させてシランガスにし、水素還元して高純度シリコンを作り、チョクラルスキー法などにより単結晶とする。
- ⑤ 白金族元素の製錬では、精鉱を王水に溶解した後に多数の溶媒抽出や還元工程を経て、粉末状やスポンジ状の金属を得る。白金族元素は銅やニッケルの電解精錬時に発生するアノードスライムにも含まれており、これらも重要な資源である。

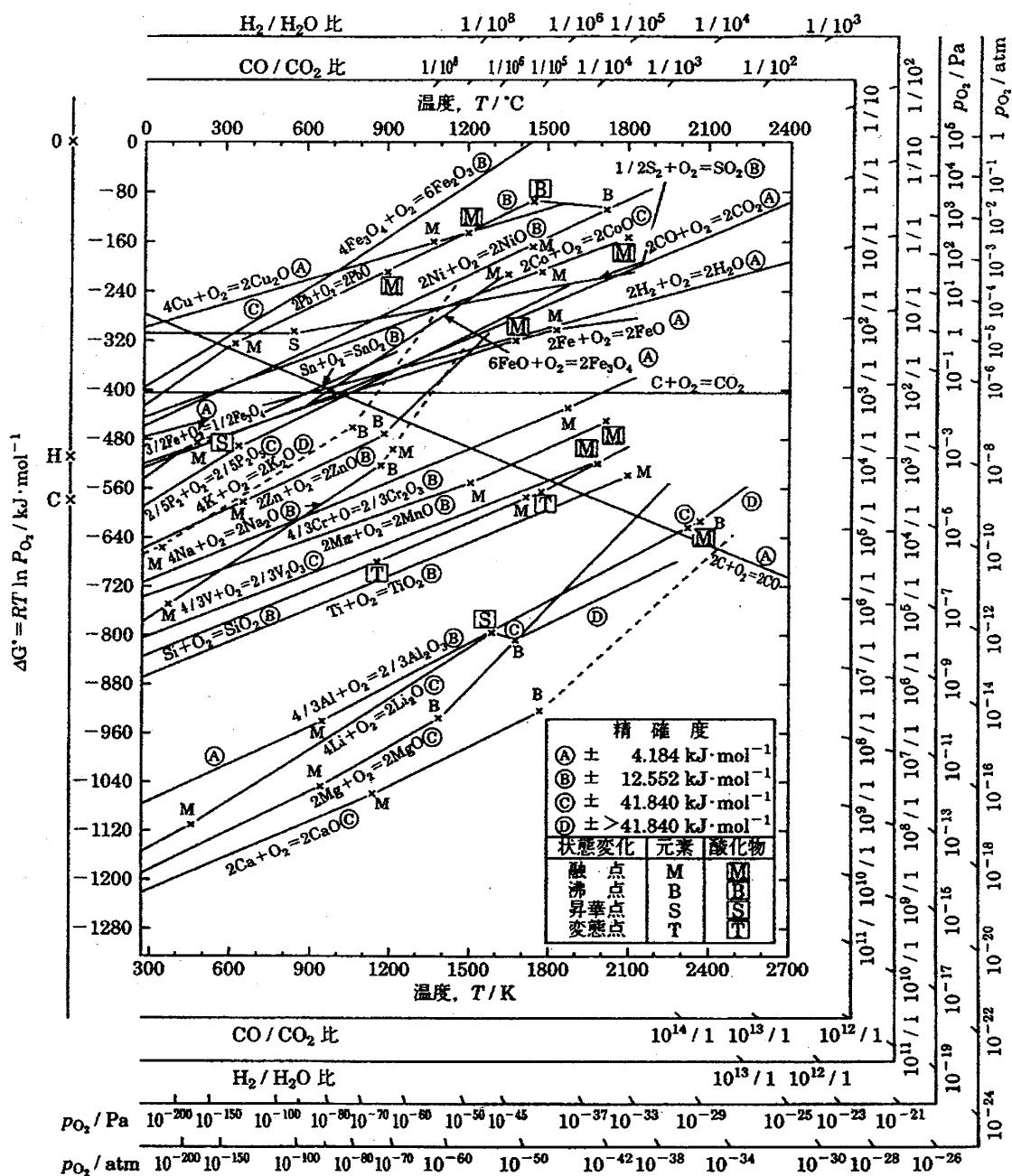
Ⅲ－３ 炉外精錬法に分類される溶銑予備処理及び二次精錬に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 炭素を高濃度に含む溶銑段階での脱硫処理が指向されるのは、溶銑中の酸素活量が低く、転炉や二次精錬に比べて低温であってもその効率は十分に高いためである。
- ② 炭素を高濃度に含む溶銑段階での脱リン処理が指向されるのは、転炉より低温であり、かつ、溶銑中リンの活量係数が、溶銑中リンと溶銑中炭素との相互作用により大きくなるためである。
- ③ 二次精錬における脱水素反応は、平衡水素分圧が低いほど効率が高く、溶鋼中の水素濃度は水素分圧の平方根にほぼ比例する。
- ④ 二次精錬において溶鋼中の窒素は、一般にアルミニウムやシリコンなどの合金元素を加えて除去される。
- ⑤ 二次精錬スラグに含まれる塩基性酸化物のうち、CaOの塩基性はMgOの塩基性より高い。

Ⅲ－４ 鋼の連続 casting プロセスに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 周辺環境からの振動による鋼材表面の割れや欠陥の発生を防ぐため、鑄型は装置に強固に固定されている。
- ② 鑄型内への供給流量制御には、タンディッシュ底部に設けられたスライディングゲートやストッパーの開度調整機構が用いられる。
- ③ 鑄型に供給された溶鋼は、鑄型面で冷却されて凝固シェルを形成する。
- ④ 溶鋼を冷やし固める際に湯面に適度な熱と流動を供給する必要があるため、モールドパウダーが用いられる。
- ⑤ 鑄型内伝熱に大きな影響を与える因子は、モールドパウダーが形成するフラックスフィルム伝熱抵抗と、鑄型とフラックスフィルム間の界面熱伝達抵抗である。

Ⅲ-5 下図は種々の酸化反応における酸素ガス1モル当たりの標準反応Gibbsエネルギーを絶対温度の関数として表した図（Ellingham図）である。この図に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。



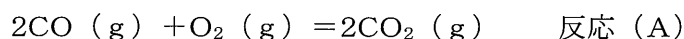
- ① 銅の酸化反応を表す線 ($4\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{Cu}_2\text{O}$) は鉄の酸化反応を表す線 ($2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2\text{FeO}$) より上側にあることから、鉄中に溶解した銅は酸化精錬で除去しにくく、一方で銅中に溶解した鉄は酸化精錬により容易に除去できると考えられる。
- ② 左縦軸上のH点は反応 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ を表す線の絶対零度 ($T=0\text{K}$) 軸における切片である。その値はこの反応の標準反応エントロピーを表し、H点を通る任意の傾きの直線上では、 $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ 比の値が一定である。

- ③ それぞれの線 ($2m/n \text{ M} + \text{O}_2 = 2/n \text{ M}_m\text{O}_n$, ここで m 及び n は自然数) より上の領域では酸化物 M_mO_n が, 下の領域では金属 M が安定であることを示しており, 一種の状態図といってよい。
- ④ それぞれの線は反応物及び生成物が活量 1 の純物質の場合を示している。一方, 実際の精錬反応では, 反応物は金属中不純物として, 生成物はスラグ中の酸化物として存在する。反応物や生成物の活量が 1 より小さい場合には, 絶対零度軸上の切片を中心としてこれらの線を回転して考える必要がある。
- ⑤ アルミニウムの酸化反応を表す線 ($4/3\text{Al} + \text{O}_2 = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$) は鉄の酸化反応を表す線より下部にあることから, アルミニウムによる酸化鉄の還元は可能であると考えてよい。

Ⅲ-6 チタンの製錬工程に関する次の記述のうち, 最も不適切なものはどれか。

- ① 現在我が国で工業化されている主流の製錬プロセスは, 不活性ガス雰囲気中で TiCl_4 をマグネシウムで還元してスポンジ状のチタンを得るクロール法である。
- ② TiCl_4 をマグネシウムよりも還元力の強いナトリウムによって還元するハンター法があり, より純度の高いチタンが得られる。
- ③ TiCl_4 は, 低品位イルメナイトと塩化カルシウムの混合物を炭素熱還元して製造される。
- ④ 生成したスポンジ状チタンは, 真空下で約 1000°C に加熱され, その中に含まれるマグネシウムとその塩化物が揮発分離される。
- ⑤ スポンジチタンを加工用素材とする方法としては, 粉末冶金法, 圧延法, 高周波溶解法, アーク溶解法, 電子ビーム溶解法などがある。

Ⅲ－7 COガスとCO₂ガスの間の反応 (A)、及び、COガス、CO₂ガス、黒鉛の間の反応 (B) の標準反応Gibbsエネルギー ΔG° は絶対温度 T の関数としてそれぞれ (1) 式と (2) 式で与えられる。このとき、次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。



$$\Delta G^\circ / (\text{J/mol}) = -561800 + 170.5T \quad (1) \text{ 式}$$



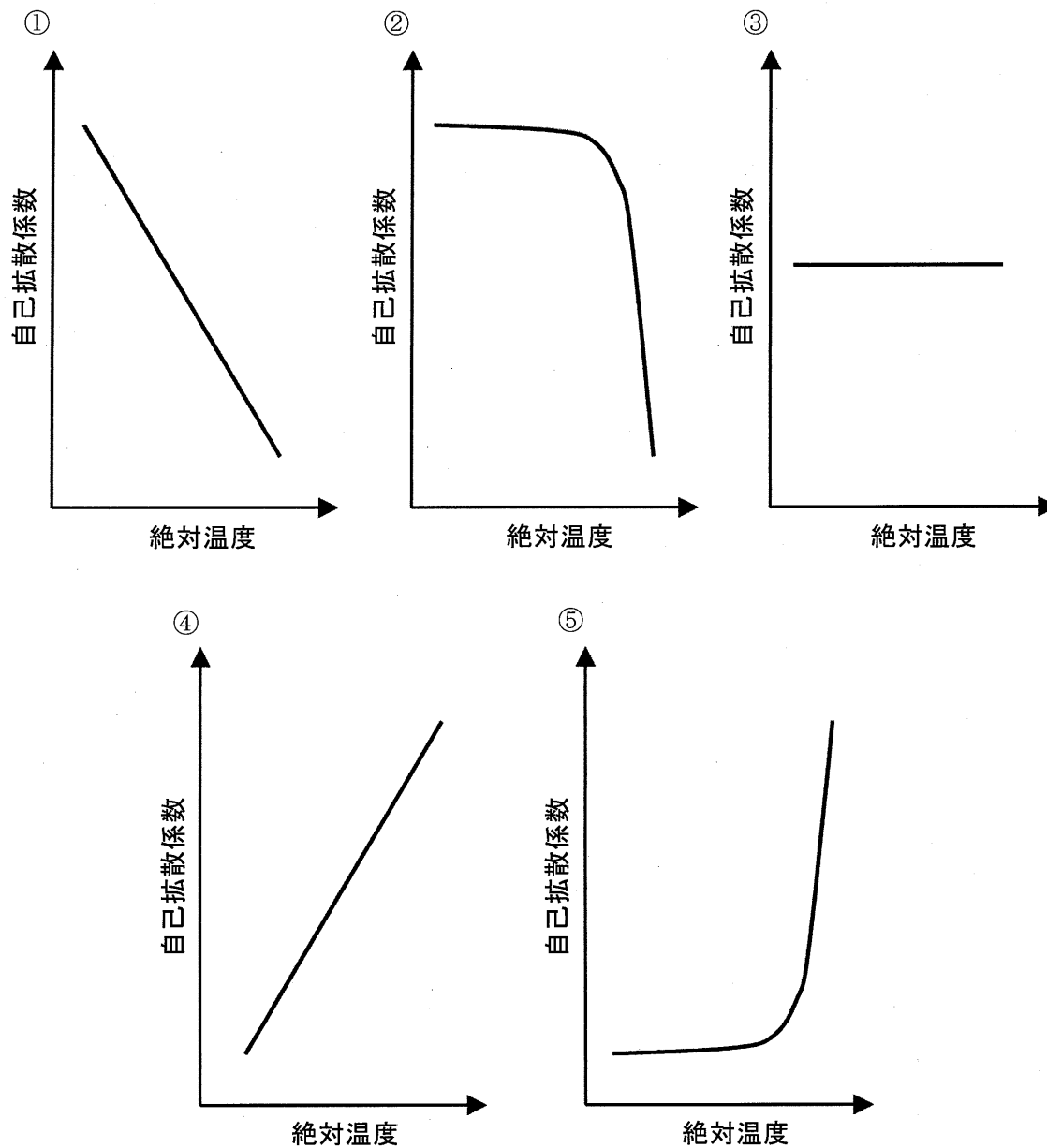
$$\Delta G^\circ / (\text{J/mol}) = -166500 + 171.0T \quad (2) \text{ 式}$$

- ① 大気圧、700℃においてCO-CO₂混合ガスから黒鉛が生成するためにはCO₂濃度は38%以下でなければならない。
- ② 大気圧で黒鉛と平衡しているCO-CO₂混合ガスを加圧するとCO₂濃度は増加する。
- ③ 1モルのCOガスの標準生成エンタルピーは-114.4kJ/molである。
- ④ 1モルの黒鉛と1モルのO₂ガスから1モルのCO₂ガスが生成する反応の標準反応エンタルピーは-395.3kJ/molである。
- ⑤ 反応 (A) と反応 (B) はいずれも炭素と酸素のみが関与する反応であるが、これらの標準反応エントロピーは大きく異なる。

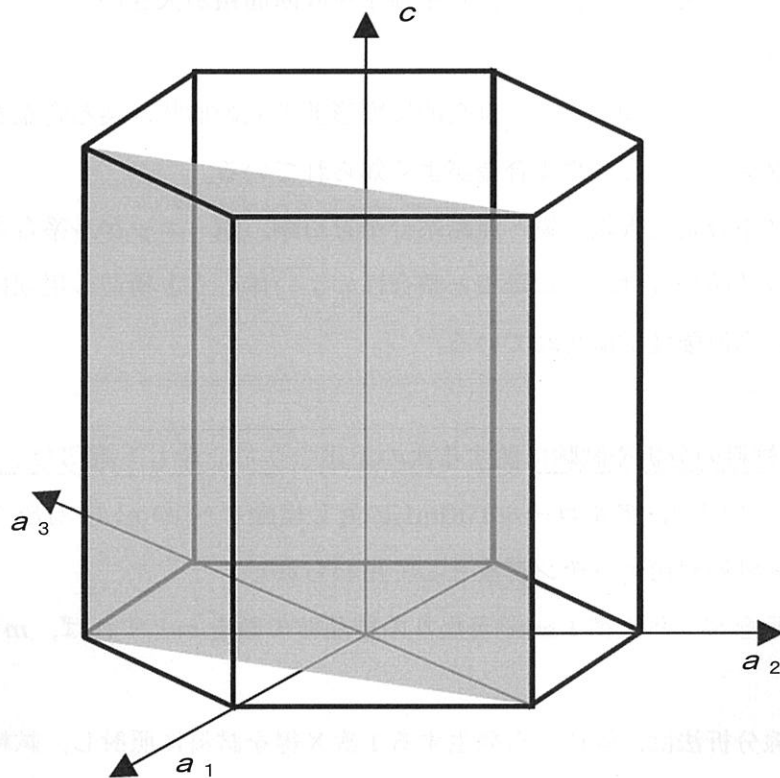
Ⅲ－8 熱力学と相平衡に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① すべての完全結晶は、絶対零度においてエントロピーが0である。
- ② 断熱された孤立系で不可逆変化が起こるとき、無秩序の度合いを表すエントロピーは増大する。
- ③ 圧力一定のもとでは、 $f = p - c + 1$ の相律が成り立つ。ここで、 c は系の構成成分の数、 p は系に存在する相の数、 f は系の状態を決定する変数の数 (自由度) である。
- ④ 孤立系では外部との物質や熱、仕事のやり取りがない限り、系のエネルギーの総量は保存される。
- ⑤ 温度と圧力を一定に保った系では、エンタルピーとエントロピーで表されるギブスの自由エネルギーが減少する方向に変化が進む。

Ⅲ－９ アレニウスの式に従う金属の自己拡散係数と絶対温度の関係を、縦軸と横軸ともに線形スケールで描いたグラフにおいて、最も適切なものはどれか。なお、横軸は右側、縦軸は上側がより高い値とする。



Ⅲ－10 金属の最密六方構造について、下図のグレーの格子面を表す最も適切なミラー・ブラベー指数はどれか。なお、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 c 軸は、矢印方向を正とする。



- ① $(1\ 0\ \bar{1}\ 0)$
- ② $(1\ \bar{2}\ \bar{2}\ 0)$
- ③ $(1\ \bar{2}\ 1\ 1)$
- ④ $(2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 0)$
- ⑤ $(2\ \bar{1}\ \bar{1}\ 2)$

Ⅲ－11 降伏応力と結晶粒径がホール・ペッチの関係にあり、摩擦応力が50 [MPa]、ホール・ペッチ係数が 60×10^4 [$\text{Pa}\sqrt{\text{m}}$]である金属材料の降伏応力を、結晶粒の微細化だけで300 [MPa]にする場合の、最も近い結晶粒径の値はどれか。

- ① 0.174 [μm]
- ② 2.94 [μm]
- ③ 5.76 [μm]
- ④ 417 [μm]
- ⑤ 2.40 [mm]

Ⅲ－12 非鉄材料に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① マグネシウムは、比重が鉄の約 $1/4$ 、アルミニウムの約 $2/3$ で、構造用金属材料中では最も軽い。
- ② ジルコニウム及びその合金は、熱中性子吸収断面積が大きいことから、原子炉材料として使われている。
- ③ 変形させた後に冷却すると、自発的に変形前の元の形状に戻る合金を形状記憶合金と呼び、チタン－アルミニウム合金がよく知られている。
- ④ 銅－スズ系合金を青銅、銅－亜鉛系合金を白銅、銅－ニッケル系合金を黄銅と呼ぶ。
- ⑤ ニッケル基超合金は、主に母相と整合性のよい体心立方構造の規則格子を有する析出物により、高温強度が保たれている。

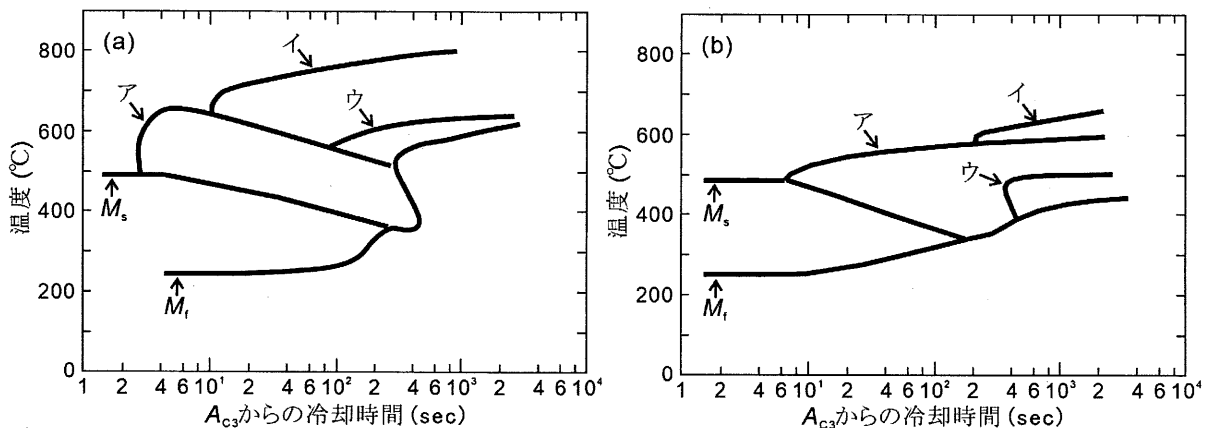
Ⅲ－13 金属材料の分析や試験に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ナイタル液は、アルコール100mLに対し塩酸1～10mLの割合で混合した溶液で、炭素鋼の組織観察用エッチング液として用いられる。
- ② 粒度番号を G 、断面積 1 mm^2 当たりの結晶粒の数を m とすれば、 $m=8 \times 2^G$ の関係が成り立つ。
- ③ 蛍光X線分析法は、管球から発生する1次X線を試料に照射し、試料中の元素から2次的に発生する固有X線を分光して強度を測り、元素の定性及び定量を行う方法である。
- ④ 電子線後方散乱回折（EBSD）装置を適切に用いれば、試料の結晶構造や結晶方位を求めることができる。
- ⑤ 透過型電子顕微鏡は試料内部の微細構造の観察に用いられるのに対し、走査型電子顕微鏡は表面近傍を観察するのに用いられる。

Ⅲ－14 金属材料の機械的試験に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 押し込み式の硬さ試験では、試験片表面にダイヤモンドや鋼球などの圧子を押しつけ、これによって生じる圧痕の大きさと押し込み荷重から硬さを測定する。
- ② 衝撃試験として広く用いられているシャルピー衝撃試験では、試験片に付けた切り欠きの背面からハンマで衝撃荷重を加えて破壊し、破壊に要したエネルギーを測定する。
- ③ 疲労試験では、繰り返し応力又は繰り返しひずみを試験片に加え、破壊するまでの繰り返し数を測定する。ある応力以下では、疲労破断に至らないこともある。
- ④ 引張試験では、一定の引張荷重を試験片が破断するまで加え、荷重と伸びの関係を得る。
- ⑤ クリープ試験では、試験片を一定の温度に保持し、これに一定の荷重を加えて、試験時間の経過とともに変化するひずみを測定する。

Ⅲ－15 図 (a) (b) は旧オーステナイト粒径のみが異なる 2 種類の低炭素鋼の連続冷却変態曲線である。以下の記述のうち、最も不適切なものはどれか。



- ① 図中の線ア、イ、ウは、それぞれベイナイト、フェライト、パーライト変態開始点を示す。
- ② (a) の鋼と比べて (b) の鋼の方が、ベイナイトが生成する冷却速度範囲は広い。
- ③ (a) の鋼と比べて (b) の鋼の方が、旧オーステナイト粒径が大きい。
- ④ (b) の鋼と比べて (a) の鋼の方が、上部臨界冷却速度が遅い。
- ⑤ いずれの鋼も、パーライトが生成した後にマルテンサイトが生成することはない。

Ⅲ-16 鋼のマルテンサイトに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① マルテンサイト変態は無拡散変態である。変態に伴い、組成の変化はなく表面起伏が生じる。
- ② Ms点は、C、Mn又はCrを添加すると上昇する。
- ③ 母相とマルテンサイト相には一定の結晶学的方位関係が存在する。この方位関係は合金の組成によって異なる。
- ④ 焼入れ状態のマルテンサイトには、高密度の格子欠陥が存在する。
- ⑤ 炭素鋼のマルテンサイトでは、炭素量の増加とともに、体心正方晶のc軸が大きくなる。

Ⅲ-17 炭素鋼のパーライトに関する記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 体心立方構造を有するフェライトと斜方晶のセメンタイトからなる層状組織を有し、共析変態により生成する。
- ② 伸線加工により得られるピアノ線の生地組織は、パーライト組織である。
- ③ 熱処理ままの炭素鋼がパーライト組織のみで構成される場合、ラメラ間隔が小さくなるほど0.2%耐力は大きくなる。
- ④ フェライトの結晶方位が同じで、しかもセメンタイトのラメラの配向が同じ領域はコロニーと称される。
- ⑤ オーステナイト化後の等温保持変態によりパーライト組織を得る場合、過冷度が大きいほど、ラメラ間隔は大きくなる。

Ⅲ-18 金属の時効に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ひずみ時効は、冷間加工によって形成された転位が溶質原子により固着され、降伏点が上昇する現象である。
- ② Al-4mass%Cu合金における時効析出の初期段階では、母相と整合のあるGPゾーンが存在する。
- ③ 過時効は、過度に長時間熱処理して軟化する現象である。
- ④ 二次硬化あるいは焼戻し硬化は、Cr、W、Mo、Vなどを添加した鋼において、200℃～300℃の焼戻しにより、より低温側の焼戻し材と比較して、硬さが増加する現象である。
- ⑤ 冷間加工を行った鋼をおおよそ300℃に加熱した際、降伏点などが増加する現象は、ブルーイング（低温焼きなまし処理）と呼ばれる。

Ⅲ－19 再結晶及び粒成長に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 再結晶が完了すると、材料組織は転位密度の低い結晶粒組織となる。
- ② 再結晶完了後の焼鈍中に、熱エネルギーを駆動力とする粒成長が生じる。
- ③ 拡散速度の遅い不純物原子が偏析する場合、粒成長速度が遅くなる場合がある。
- ④ 第2相粒子と交わりを有する粒界が移動する場合、粒界移動を妨げようとするピン止め力が働く。ピン止め力による粒界移動の抑止効果をツェナー・ドラッグという。
- ⑤ トランスの鉄心材料として用いられるケイ素鋼板は、電気エネルギーから磁気エネルギーへの変換時に発生する鉄損を少なくするため、異常粒成長を利用した集合組織制御により製造されている。

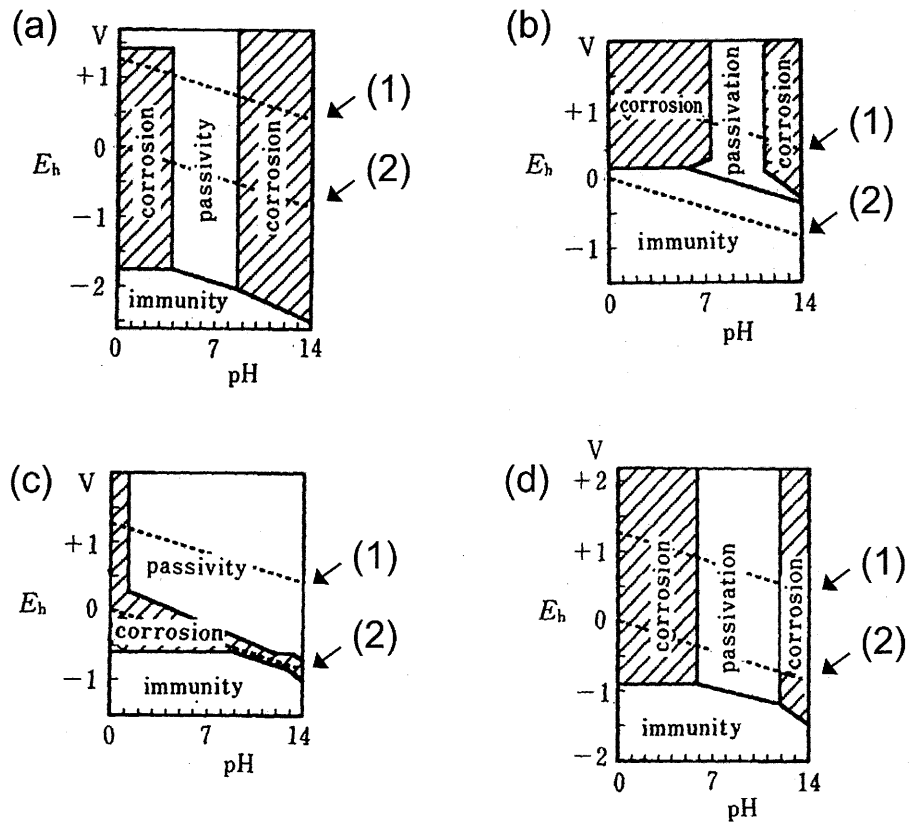
Ⅲ－20 鋼の添加元素に関する次の記述のうち、 A_3 点の温度変化に関する記述として、最も不適切なものはどれか。

- ① Vは上げ、Cは下げる。
- ② Niは上げ、Crは下げる。
- ③ Moは上げ、Cuは下げる。
- ④ Siは上げ、Mnは下げる。
- ⑤ Tiは上げ、Pも上げる。

Ⅲ－21 焼鈍中の回復に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 回復は、加工により蓄積された格子欠陥や弾性エネルギーを開放しようとして、常に再結晶と同時に生じる現象である。
- ② 塑性加工された材料を低温から加熱して行くと、原子空孔や格子間原子などの点欠陥の消滅が起こる。
- ③ 転位の消滅や再配列も回復の素過程である。正負の転位がすべり運動や交差すべりにより合体消滅する。
- ④ 回復により転位が再配列し小角粒界が形成される。小角粒界の結晶方位差が大きいほど、小角粒界の有するエネルギーは大きくなる。
- ⑤ 塑性加工において、回復は加工・変形プロセス中にも、その条件に応じて可能な程度まで生じることがある。

Ⅲ-22 下の図は、Al, Zn, Fe, Cuの4種類の金属Mに対するM-水系（25℃）の電位-pH図である。各図（a）～（d）と金属Mとの組合せのうち、最も適切なものはどれか。



(1) O_2/H_2O 線 縦軸： E_h / V vs. SHE
 (2) H_2/H_2O 線

immunity:不感態 passivity:不動態 passivation:(受)動態 corrosion:腐食

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>
①	Zn	Cu	Fe	Al
②	Fe	Zn	Al	Cu
③	Al	Fe	Cu	Zn
④	Al	Cu	Fe	Zn
⑤	Zn	Fe	Cu	Al

Ⅲ－23 表面処理に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 陽極酸化して得られたアルミニウムの酸化皮膜はアルマイトと呼ばれ、耐食性のみならず耐摩耗性にも優れている。
- ② エッチングには、酸やアルカリ水溶液による溶解作用を利用する湿式法と主にプラズマを利用する乾式法がある。
- ③ 台所用品や浴槽などに使用される「ほうろう」は、グラスライニングの一種である。
- ④ イオン注入では、目的の原料をイオンビームとして取り出し、加速器によって加速して対象製品に照射し、表面からイオンを打ち込む。
- ⑤ PVD（物理蒸着）やCVD（化学蒸着）は、液状にした物質を膜生成に利用するので、液相めっきとも呼ばれる。

Ⅲ－24 局部腐食に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ステンレス鋼では、孔食は塩化物イオンと酸化剤を含む水溶液中で発生しやすい。
- ② 孔食が深く進行する機構として、アノード溶解した金属イオンの加水分解及び酸化物生成によるpH低下が挙げられる。
- ③ すきま腐食では、すきま内部がアノードとなり腐食が促進される。
- ④ C含有量が約0.02 mass%より多いオーステナイト系ステンレス鋼において、粒界の隣接部にCr濃化層が生じることで腐食が促進される。
- ⑤ ステンレス鋼の溶接の熱影響部では、粒界が鋭敏化されることで粒界腐食が生じる。

Ⅲ－25 各種金属材料の耐食性に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ニッケルは、水酸化ナトリウムや水酸化カリウムなどの強アルカリ溶液に対して耐食性を有する。
- ② 鋳鉄の腐食では、マトリックス中に分散した黒鉛がアノードに、マトリックスがカソードとなる。
- ③ ステンレス鋼は、希硫酸や酢酸のような非酸化性酸中で全面腐食することがある。
- ④ 銅は、海水などの中性の塩類に対して耐食性を有するが、激しい流動条件下では、エロージョン・コロージョンを生じる。
- ⑤ 表層海水中における炭素鋼の腐食速度は平均で約0.1mm/年である。

Ⅲ－26 めっきに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① チタンは表面に強固な酸化皮膜を生成するため、めっきする際には酸化皮膜を除去するプロセスが重要である。
- ② めっきの前処理として行われる脱脂では、メタケイ酸ナトリウムやオルトケイ酸ナトリウム、オルトリン酸ナトリウムの酸性溶液などが使われる。
- ③ 無電解めっきは、プラスチックやセラミックスのような非導電体にも適用可能である。
- ④ 電気銅めっきでは、被めっき物であるカソードに電子が運ばれて銅が析出する。
- ⑤ 鉄への亜鉛めっきは、亜鉛が鉄よりも卑な金属であるために、優先的に亜鉛が腐食することで下地の鉄を防食する。

Ⅲ－27 応力腐食割れに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 高温塩化物水溶液中において、フェライト系ステンレス鋼は応力腐食割れを起こしやすいが、オーステナイト系ステンレス鋼はほとんど起こさない。
- ② 高強度Al—Zn—Mg合金は、塩化物水溶液中で応力腐食割れを起こすが、フッ化物水溶液中ではほとんど起こさない。
- ③ アンモニア水溶液中における黄銅の応力腐食割れは、応力による皮膜破壊→黄銅の溶解→皮膜再生→応力による皮膜破壊が繰り返されて進行する。
- ④ 工業用純Tiは水溶液環境ではほとんど応力腐食割れを起こさない。
- ⑤ CrやNiを合金元素とすることで、炭酸塩環境における低合金鋼の応力腐食割れ抵抗性は向上する。

Ⅲ－28 化成処理に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 化成処理は、化学反応を利用して金属表面に無機質の皮膜を形成する方法である。
- ② 亜鉛の化成処理は、耐食性の向上が主な目的であるが、表面のつや出し、着色などの目的で行われることもある。
- ③ リン酸塩化成処理は、自動車や家電などにおいて塗装の下地処理として、塗膜と下地との密着性を確保するために不可欠な表面処理である。
- ④ マグネシウムは、活性な金属であり、水溶液中で容易に水酸化マグネシウムの皮膜を形成する。しかし、アルカリ環境中では皮膜が溶解するので、腐食を防ぐための化成処理が行われる。
- ⑤ クロメート処理は、クロム酸を主成分とする処理浴で表面処理する方法であり、亜鉛めっき鋼板、スズめっき鋼板、アルミニウム合金によく用いられる。

Ⅲ－29 等方性の金属材料の降伏について記述した次の文のうち、最も不適切なものはどれか。ただし、対象とする材料は、単軸引張における降伏応力が100MPaであり、ミーゼスの降伏条件に従うものとする。

- ① この材料を単軸圧縮した場合は、100MPaの圧縮応力で降伏する。
- ② この材料の薄肉円管に対してねじりトルクのみを加えたとき、せん断応力が約57.7 MPaで降伏する。
- ③ この材料の板材に対して、面内の直交する二方向に100MPaの同一の引張応力を同時に与えた場合、降伏する。ただし、板の面外方向の応力はゼロとする。
- ④ この材料に $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1 : 0 : -1$ の比の主応力を与えたときに、材料が降伏したとすれば、 σ_1 は50MPaである。
- ⑤ この材料の立方体に200MPaの圧縮の静水応力を加えた場合、材料は降伏しない。

Ⅲ－30 板材の成形性に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 伸びフランジ成形では穴縁からの破断、縮みフランジ成形では座屈によるしわの発生が成形限界になる。
- ② 穴広げ試験では、予め中央部に穴をあけた板を円すい状パンチ（ポンチ）で張出し成形する。穴の縁に割れが生じたときの直径を測定し、板材の伸びフランジ性を評価する。
- ③ 円筒深絞り加工における限界絞り比（LDR）は板材の深絞り性の評価指標となる。引張試験における r 値（ランクフォード値又は塑性ひずみ比）が大きいほど限界絞り比が大きい。
- ④ コニカルカップ試験では板材の張出し性及び深絞り性の複合的な成形性を評価する。破断したカップの上縁部の外径の最大値と最小値を測定し、平均した値をコニカルカップ値と呼ぶ。引張試験における r 値が大きいほどコニカルカップ値が小さくなる。
- ⑤ エリクセン試験では、周囲を固定した板材を球頭パンチで張出し成形し、割れが生じた高さをエリクセン値とする。エリクセン値は引張試験における n 値（加工硬化指数）との相関があり、 n 値が小さな材料のエリクセン値は大きい。

Ⅲ－31 円板状の素板から円筒容器への深絞り加工に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 深絞り加工中、フランジ部（ダイス面上の円板）では、素板が薄い場合、円周方向に座屈が生じるため、しわ押えを用いる。
- ② 素板の外縁が最も円周方向に収縮するため、絞り終った容器の板厚は、素板外周部で最も増加する。
- ③ パンチ（ポンチ）肩部の丸み半径は、最大絞り荷重にほとんど影響しないが、丸み半径が板厚に対して小さすぎると円筒容器底の角部の板厚が減少し、加工中に破断が生じやすくなる。
- ④ ダイス肩部の丸み半径は、ダイス肩部を通過する板材の曲げ・曲げ戻し変形の大きさに影響するため、絞り荷重に影響する。板厚に対して小さすぎると破断が生じ、逆に大きすぎると縁部にしわが生じやすくなる。
- ⑤ 限界絞り比（LDR）は、引張試験における r 値（ランクフォード値又は塑性ひずみ比）との相関が強いが、素板の板厚の大小は限界絞り比には関係しない。

Ⅲ－32 鍛造加工に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 鍛造加工を材料の変形状態から大別すると、自由鍛造と型鍛造に分類される。自由鍛造は素形材製造や小型から大型の鍛造品まで広範な加工に用いられる。型鍛造は寸法精度が高く、複雑な形状への加工に用いられる。一般に型鍛造の方が加工面圧が高い。
- ② 鍛造の加工力 P は、材料の変形抵抗を Y 、型との接触面積を A とすると、 $P = CAY$ で表される。ここで C は拘束係数と呼ばれ、摩擦状態や金型の密閉度によって決まる 0 から 1 の間の係数である。
- ③ 熱間鍛造では材料を再結晶温度以上に加熱する。加熱温度は高い方が加工荷重を下げられるが、過度な加熱は結晶粒が粗大化し材料の延性低下を招く。
- ④ 鋳塊の熱間鍛造では、鋳造組織の粗大な柱状晶を破壊し、鋳巣、収縮孔を消滅させ、それと同時に結晶粒を微細化することができる。
- ⑤ 鍛造によって生じる連続的なメタルフローにより鍛流線が形成される。製品において、鍛流線に沿った方向の機械的特性を向上させることができる。

Ⅲ－33 引抜き加工に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 管材（中空材）の引抜き加工法のうち、空引きは外径の減少のみを行うため、肉厚寸法を精度よく加工することはできない。一方、玉引き（プラグ引き）では、外径と肉厚の精度が高く、内面、外面とも平滑に加工できる。
- ② 管材の浮きプラグ引きでは、プラグのテーパ部の力のつりあいにより管内の定位置にプラグを安定化させるため、数千mもの長尺材を加工できる。
- ③ 引抜き加工における仕事は、縮径に要する変形仕事、ダイスとの摩擦仕事、ダイス入側・出側で流れを変化させるために消費される余剰変形仕事の3つによって構成される。
- ④ 引抜きダイスのダイス角（円錐角）には引抜き荷重を最小化する最適ダイス角が存在する。ダイスと引抜き材の間の摩擦係数が大きい場合は、最適ダイス角は小さくなる。
- ⑤ 引抜きダイスに入る側で、進行方向と逆向きの張力を素材に作用させると、ダイスに働くスラスト力を下げることができる。

Ⅲ－34 板の圧延加工に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 四段圧延機は、小径のワークロールを大径のバックアップロールで支えることで、圧延荷重によるワークロールのたわみ変形を抑制する。
- ② 板と直接接触するワークロールでは、接触部におけるロール表面の曲率半径が、無負荷時のワークロール半径よりも、弾性変形によって大きくなる。
- ③ 圧延中の板に前方張力又は後方張力を加えると、圧延圧力を減少させることができる。
- ④ 小径のワークロールを用いた場合、板の噛み込みが改善され、大きな圧下量を小さな圧延荷重で与えることが可能になる。
- ⑤ 薄板の圧延において、板厚の幅方向分布（板クラウン）の制御が不適切であると、板端部の端伸び（耳波）や板中央部の中伸び（中波）などの平坦度不良が生じる。

Ⅲ－35 塑性加工におけるトライボロジーに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 塑性加工界面の潤滑は、一般に流体潤滑よりも境界潤滑に近い状態にある。
- ② 塑性加工界面は、材料の弾性限をはるかに超えた高い面圧下にあり、その面積は広い。
- ③ 塑性加工界面の温度は、素材の加工開始温度よりも高くなることはない。
- ④ 塑性加工界面では、加工中に被加工材の新生面が露出する。
- ⑤ 塑性加工界面内でのすべり速度や方向は、接触界面内で大きく変化することもある。