

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。)

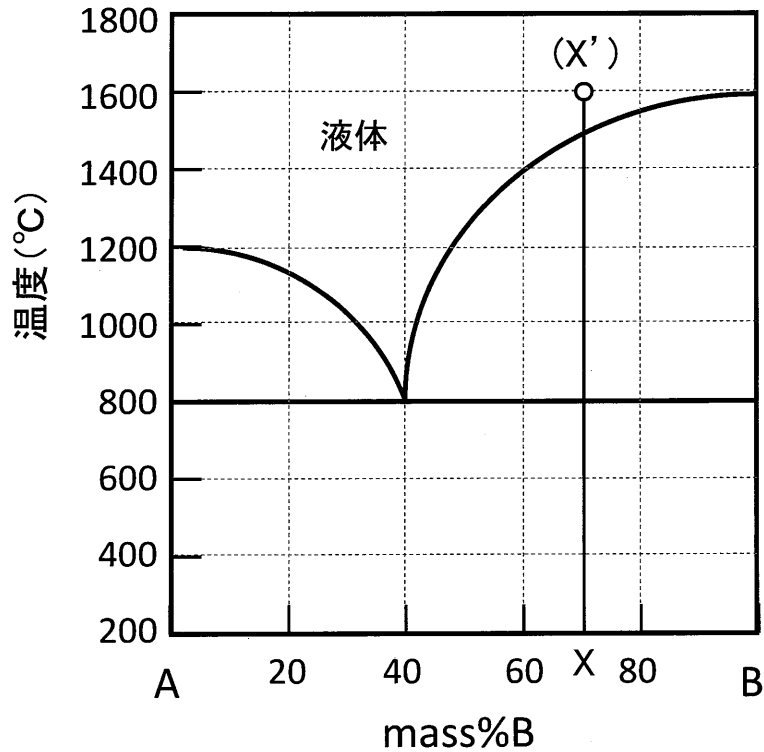
Ⅲ-1 高炉(溶鉱炉)製鉄プロセスに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 高炉は炉頂部から装入された鉄鉱石とコークスが、炉床部から吹き込まれた高温の空気と反応する並流型の反応装置である。
- ② 鉱石中の脈石成分を分離するため、フラックスを加えて粘性の低い熔融スラグをつくり、銑鉄と分離する。
- ③ 高炉内は強還元雰囲気であるため、ほとんどのリンは還元されて鉄とともに溶鉄中に混入する。
- ④ 高炉の炉頂から排出されるガス(高炉ガス)は20vol%～30vol%程度のCOを含み、回収されて製鉄所内の加熱炉や火力発電などの燃料に使用される。
- ⑤ 原料炭を乾留して製造されるコークスは、高炉中で、鉄鉱石の還元剤、反応や熔融に必要な熱源のほかに、高炉の通気性保持などの役割を果たしている。

Ⅲ-2 非鉄生産システムに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ニッケル硫化鉱の乾式製錬においては、精鉱を溶鉱炉や自溶炉等で溶錬してマットを得た後、転炉でマット中の鉄を酸化除去して高品位化する。
- ② チタンの製錬法であるクロール法では、中間生成物である四塩化チタンをマグネシウムで還元してスポンジチタンを得た後、これをプレスにより圧縮成型して消耗電極として高真空中でアーク溶解し、凝固させて最終インゴットにする。
- ③ 白金族元素の製錬では、精鉱を王水に溶解し、さらに多数の溶媒抽出や還元工程を経て、粉末(スポンジ)状の金属が得られる。
- ④ アルミニウムの製錬では、バイヤー法によりボーキサイトから酸化アルミニウムを得て、これをホール・エルー法により氷晶石にフッ化アルミニウムを添加した熔融塩に溶解し、炭素電極を用いて電解が行われる。
- ⑤ 半導体用のシリコンの製造では、珪石の炭素熱還元により得られる工業用シリコンを硫化水素と反応させシランガスにし、水素還元して高純度物を得る。これを真空又は不活性な雰囲気下で熔融し、単結晶を得るのに回転引き上げ法(チョクラルスキー法)が常用される。

Ⅲ-3 下図のA-B二成分系合金状態図において、組成X（70mass%B）の溶融物を1600℃（点X'）からゆっくりと冷却した場合について、最も不適切なものはどれか。



- ① 1400℃における固体Bの質量割合は、全体のおよそ25mass%である。
- ② 共晶温度（800℃）の直上の温度で晶出している固体Bの質量割合は、全体のおよそ50mass%である。
- ③ 共晶温度（800℃）で残っている融液から結晶化する固体Bの質量割合は、全体のおよそ20mass%に相当する。
- ④ 共晶温度（800℃）で残っている融液が凝固してできる組織中の成分Aの質量割合は、およそ40mass%である。
- ⑤ 点X'からの冷却過程で、温度が一定のまま変化しない状態が現れる温度は、共晶温度のみである。

Ⅲ－４ 鉄鋼スラグの性質や用途に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① アルカリ金属やアルカリ土類金属の酸化物のように、溶融した場合や溶融スラグに添加された場合に酸化物イオンを供給するものは、塩基性酸化物と呼ばれる。
- ② スラグの化学的な機能を評価する目安として、スラグの塩基度が常用され、塩基性成分と酸性成分の割合で関連付けられている。
- ③ 高炉スラグは肥料成分であるCaO、MgO、SiO<sub>2</sub>を含み、鉍さい珪酸質肥料として稲作用にも使われている。
- ④ 製鋼スラグは、添加した副原料の生石灰が未溶解で残留することがあるため、あらかじめ蒸気エージング処理により水と反応させて体積収縮させた後、路盤材等に利用される。
- ⑤ 鉄鋼スラグ水和固化体製ブロックは、結合材として高炉スラグ微粉末、骨材として製鋼スラグを使用して製造され、セメントコンクリートの代替物として、セメント製造時のCO<sub>2</sub>発生の抑制や天然骨材採取による環境影響の抑制が期待されている。

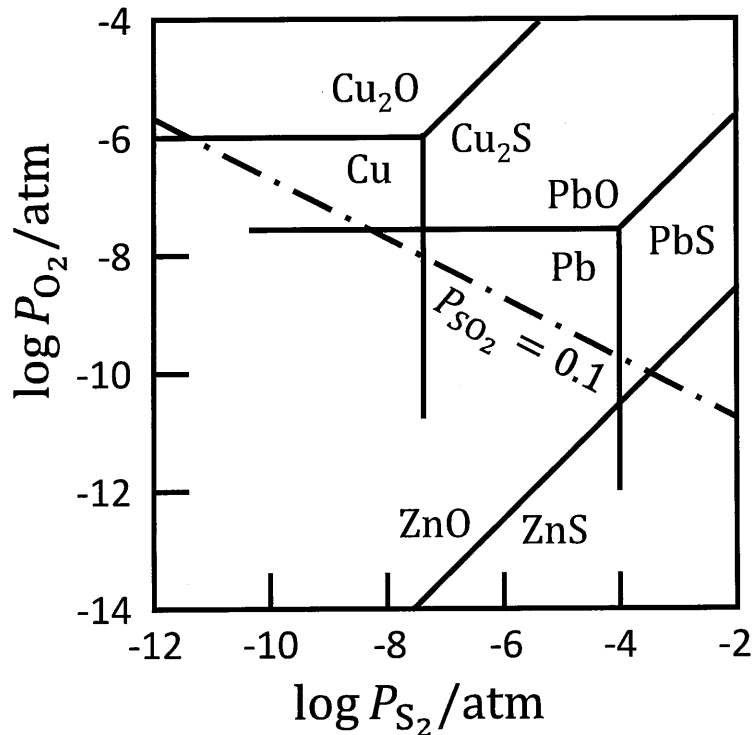
Ⅲ－５ 鋼の連続 casting に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 連続 casting 法とは、製鋼炉で溶製された溶鋼から直接スラブ、ブルーム、ビレットなどの鋼片を casting する方法である。
- ② 溶鋼の casting への焼き付きを防ぐため、 casting 型は銅製で表面に鉄基合金のめっきが施されている。
- ③ casting 型と casting 片間の潤滑剤としてモールドパウダーと呼ばれるCaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>を基本系とするフラックスを casting 型内の溶鋼上部から添加する。
- ④ とりべの溶鋼は、タンディッシュと呼ばれる容器に注湯され、タンディッシュの底から casting 型内に注入される。
- ⑤ casting 型を出たばかりの casting 片は、表面部が凝固しているだけで内部は未凝固状態なので、多数のロール群でその形状を保持しながら冷却水を吹き付けて凝固を促進する。これを二次冷却という。

Ⅲ－6 電気炉（アーク炉）製鋼法に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 令和4年度の日本国内の電気炉法による粗鋼生産は、全粗鋼生産量の約50%に相当する。
- ② 電気炉はスクラップを有効に活用できるのみならず、CO<sub>2</sub>排出量は高炉－転炉法の約25%と少ない。
- ③ 電気炉の炉内精錬工程は、溶解期（原料装入＋溶解）、酸化期、還元期に分けられる。
- ④ 電気炉製鋼法は、電気エネルギーに頼っていた溶解から酸素や化石燃料などの化学エネルギーを多用した溶解へと変化し、電気炉溶解での両エネルギー比率は1：1に達する場合もある。
- ⑤ 環境問題を引き起こさずに、排ガスの顕熱やその未燃焼ガスを利用してスクラップを予熱する技術が欧州を中心に発展し、予熱型電気炉が増加している。

Ⅲ-7 下図は、酸素分圧 ( $P_{O_2}$  (atm)) と硫黄分圧 ( $P_{S_2}$  (atm)) を変数として表記した 1300K の金属元素M-硫黄-酸素系化学ポテンシャル図である。図中に示される凝縮相は全て純物質とする。次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

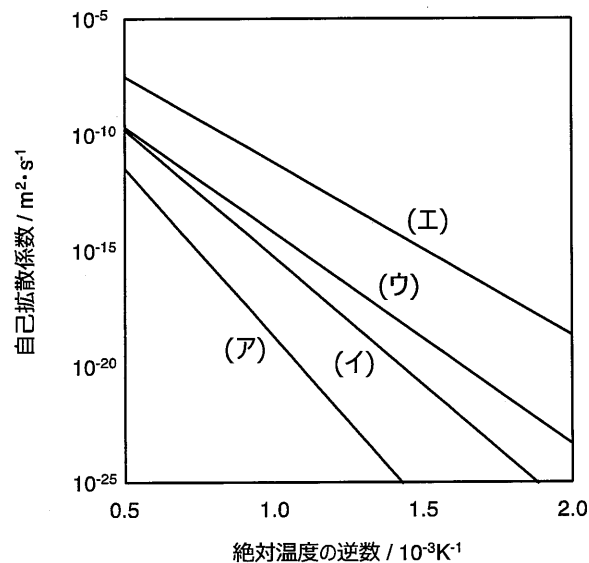


- ① 一定の $SO_2$ 分圧 (例えば $p_{SO_2}=0.1\text{atm}$ ) を示す等圧線に沿って $P_{O_2}$ を増していくと、 $P_{S_2}$ が減少する。
- ② 硫化亜鉛 ( $ZnS$ ) を加熱し、 $SO_2$ 分圧 $p_{SO_2}=0.1\text{atm}$ で一定の雰囲気下で酸化すると、酸化亜鉛 ( $ZnO$ ) が得られる。
- ③ 硫化銅 ( $Cu_2S$ ) を加熱し、 $SO_2$ 分圧 $p_{SO_2}=0.1\text{atm}$ で一定の雰囲気下で酸化すると、金属銅の得られる雰囲気条件が存在する。
- ④ 本図において、酸化物の還元反応は雰囲気条件を上方から下方へ垂直に移動させる操作として説明される。
- ⑤  $Cu/Cu_2O/Cu_2S$ の3相が共存する1300Kの平衡状態では、鉛は金属として存在する。

Ⅲ－８ 金属の最密六方構造に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 単位胞中の原子数は2個である。
- ② 最近接原子数は12個である。
- ③ 最密充填原子面の積み重ねはABABABである。
- ④ 原子を剛体球と仮定し、 $c$ 軸の長さを $c$ 、原子半径を $r$ とすれば、 $c=2r$ である。
- ⑤ 原子を剛体球と仮定したとき、単位格子中の原子の充填率は約74%である。

Ⅲ－９ 下図は、金属元素の自己拡散係数及びその外挿と、絶対温度の逆数の関係を示している。元素の組合せとして、最も適切なものはどれか。



	ア	イ	ウ	エ
①	金	アルミニウム	ニッケル	銅
②	銅	ニッケル	アルミニウム	金
③	アルミニウム	金	銅	ニッケル
④	ニッケル	銅	金	アルミニウム
⑤	ニッケル	銅	アルミニウム	金

Ⅲ-10 金属の転位に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① らせん転位は、コットレル効果と呼ばれる塑性変形場と溶質原子との相互作用により、固着されて移動が困難になる場合がある。
- ② らせん転位では、転位線とバーガース・ベクトルが平行である。
- ③ 刃状転位は、完全結晶の中に余分な半原子面を挿入することで作ることができる。
- ④ 刃状転位では、転位線と結晶のすべり方向が直交する。
- ⑤ ほかに欠陥がない結晶の中で、転位が結晶の周期的ポテンシャルを乗り越えて運動するために必要な応力を、パイエルス応力という。

Ⅲ-11 金属の疲労に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 繰返し数ほぼ $10^4$ 回以下では塑性ひずみ範囲の影響が大きく、破断寿命も短いことから、低サイクル疲労と呼ばれる。
- ② 高サイクル疲労強度は、材料の静的強度に比例するが、鋼材では引張強さが1000MPaを超えると疲労強度の増加が小さくなる。
- ③ 体心立方格子は明瞭な疲労限界を示す一方、面心立方格子や最密六方格子は $10^8$ 回の繰返し数でもS-N曲線に水平部が現れない。
- ④ 引張り、圧縮、ねじりなどの単純な塑性変形を室温であらかじめ与えれば、材料の疲労強度は予加工の増大に伴い向上する。
- ⑤ 曲げ荷重や捩じり荷重では、疲労強度は寸法効果により部材寸法の増大に伴い低下する傾向がある。

Ⅲ-12 金属の接合に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 被覆アーク溶接において、被覆剤の一部はスラグとなり溶融した金属の上に残りビードの酸化を防ぐ。
- ② 非消耗電極式溶接は、電極の消耗を伴わないのでアークは非常に安定であり、欠陥がほとんど無い高品質な溶接継ぎ手作製が可能となる。
- ③ 抵抗スポット溶接において、加圧力を高く設定しすぎると、接触面積は狭くなり電流密度は高く維持されて溶融しやすくなるが、溶融金属が過剰に形成されやすくなる事がある。
- ④ 摩擦攪拌接合では、最高到達温度が融点に達せず、固相状態で接合するため接合部における強度低下が溶融溶接に比べて小さい。
- ⑤ ろう付は、ぬれによってろうが母材の狭いすきまに入るので、複雑な形状で接合部が多数箇所あるものの接合が容易で、自動化や大量生産に適している。

Ⅲ-13 チタン及びチタン合金に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① チタンの常温における水素固溶量は約20～30mass ppmと小さいので、その固溶度をこえて水素を吸収すると水素化物が析出し、ぜい化する。
- ② 熱間加工性はβ相が多いほどよくなるため鋳塊の粗鍛造はβ域で行い、仕上げ鍛造は組織を調整して特性を改善するためα+β域で行われる。
- ③ チタンのα-β変態における方位関係はバーガースの関係、すなわち、 $(110)_\beta // (0001)_\alpha$ ,  $[\bar{1}11]_\beta // [11\bar{2}0]_\alpha$ に従う。
- ④ 焼入れ後に時効処理又は低温焼戻しを行って析出物を微細に分散させると、強さの増大とともに靱性も向上する。
- ⑤ 工業用純チタンは、低温においては降伏応力、引張強さは上昇するが、靱性は低下するので、低温構造材料としてはあまり利用されない。

Ⅲ-14 金属材料の分析及び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 γ単相域から焼き入れた試料を通常よく使われるナイトール液で腐食しても、マルテンサイト組織は現出されるものの、旧γ粒組織は明瞭には観察されない。
- ② 押し込み硬さ試験は、ロックウェルやブリネルのようなくぼみ深さを利用する方法と、ビッカースのようなくぼみの面積を利用する方法とに大別される。
- ③ 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。
- ④ EBSDでは、バンド幅が格子定数に対応するため、狭いバンド幅から格子定数を正確に求めることは非常に難しい。
- ⑤ オージェ電子分光は、試料表面に電子線を照射したときに発生するオージェ電子を利用して、試料表面の元素分析を行う手法である。



Ⅲ-15 Fe-C系 (Fe-Fe<sub>3</sub>C系) 状態図と合金元素の影響に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。ここで、L：液相、 $\gamma$ ：オーステナイト、 $\alpha$ ：フェライト、Fe<sub>3</sub>C：セメンタイトである。

- ① 約1147℃に  $L \rightleftharpoons \gamma + Fe_3C$  の共晶反応が、約727℃に  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C$  の共析反応が存在する。
- ②  $\alpha$  は最大0.02mass%程度 (約723℃)、 $\gamma$  は最大2.14mass%程度 (約1147℃)、 $\delta$  は最大0.10mass%程度 (約1493℃) までCを固溶する。
- ③ 合金元素Siの添加は、状態図の $\gamma$ の領域を広げ、共析温度を下げる。
- ④ 合金元素Moの添加は、状態図の $\gamma$ の領域をせばめる。
- ⑤  $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$  の共晶反応によって生じる共晶組織はレーデブライトと呼ばれ、白鉄 (白鉄) の組織に現れる。

Ⅲ-16 鋼のAc<sub>1</sub>点の温度に影響を及ぼす添加元素に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① Mnは下げる。
- ② Wは上げる。
- ③ Asは下げる。
- ④ Crは上げる。
- ⑤ Niは下げる。

Ⅲ-17 焼入れした鋼の焼戻しに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① マルテンサイト中に過飽和に含まれているCをFe炭化物として析出させ、延性及び靱性を付与するための熱処理が焼戻しである。
- ② 150℃付近で焼戻しを行った場合、転位密度はほとんど変化しないが、 $\epsilon$ 炭化物の析出によって硬さは低下する。
- ③ 約250℃～300℃で焼戻しを行った場合、残留オーステナイトが分解してフェライトと $\epsilon$ 炭化物を生成する。
- ④ 約300℃以上で焼戻しを行った場合、安定な炭化物であるセメンタイトが析出する。
- ⑤ V、Mo、Crなどを含む鋼を約500℃～600℃で焼戻すと、硬度の再増加が起こることがある。

Ⅲ-18 鋼材の焼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 変態膨張量の部分差による熱応力が割れの原因となり得る。
- ② 加工時の肌あれなどがあると、割れの発生につながる。
- ③ 鋼材部品の薄肉部は遅く冷却し、厚肉部は速く冷却することで割れにくくする。
- ④ 偏析や過熱による結晶粒の粗大化により、硬化するために割れの発生につながる。
- ⑤ 鋼材の表層に脱炭があると、割れの発生につながる。

Ⅲ-19 鋼の焼戻しぜい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 焼入れした鋼を200℃~400℃で焼戻したときに、衝撃値が低下する現象を、低温焼戻しぜい性という。
- ② PやNなどの不純物の旧オーステナイト粒界への偏析は、低温焼戻しぜい性に有害であるが、AlやTiの添加は、低温焼戻しぜい性の改善に効果がある。
- ③ Cr鋼、Ni-Cr鋼などを450℃~550℃で焼戻したとき、又は更に高温で焼戻した後、450℃~550℃の区間をゆっくり冷却した時に衝撃値が低下する現象を、高温焼戻しぜい性という。
- ④ オーステナイト結晶粒を微細化することは、高温焼戻しぜい性の防止に有効である。
- ⑤ PやSbなどの不純物の旧オーステナイト粒界への偏析は、高温焼戻しぜい性に有害であるが、0.2mass%~0.5mass%のCrの添加は、高温焼戻しぜい性の防止に有効である。

Ⅲ-20 各種鉄鋼材料の熱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 高炭素Cr軸受鋼では、球状化焼なましを施すことによって、Cr炭化物を結晶粒界に球状析出させ、焼割れを防止している。
- ② 代表的な冷間成形ばね用鋼であるピアノ線では、パテンティング、強い冷間加工の後、ブルーイングの熱処理により、弾性限や疲労強度を高めている。
- ③ オーステナイトステンレス鋼では、1000℃~1150℃に加熱、急冷する固溶化熱処理（溶体化処理）により、常温でオーステナイト組織としている。
- ④ 機械構造用合金鋼は、添加元素により焼入れ性を高めている。高温焼戻しぜい性を軽減するために、焼戻し後急冷するか、又はMoを少量添加している。
- ⑤ 高速度工具鋼では、焼入後、530℃~630℃で焼戻すことによって、二次硬化を生じさせ、硬度を高める。残留オーステナイトが出やすいので、焼戻しを2~3回行う。

Ⅲ-21 炭素鋼の組織に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 約0.6mass% C以上の炭素鋼では被削性を改善するために球状化焼なまし処理がなされ、比較的大きな球状セメンタイトが均一に分布している組織となる。
- ② トルースタイトは、マルテンサイトを約400℃に焼戻ししたときに得られる組織である。マルテンサイトからセメンタイトが微粒に析出した組織である。
- ③ ベイナイトは、フェライトとセメンタイトの混合組織である。羽毛状又は針状に伸びたフェライトの境界又は粒内にセメンタイトが分散した組織である。
- ④ マルテンサイトは、炭素含有量によってラスマルテンサイトやレンズ状マルテンサイトの組織になる。ラスマルテンサイトでは稲妻状の組織が見られ、レンズ状マルテンサイトではブロックやパケットと呼ばれる組織が見られる。
- ⑤ ソルバイトは、マルテンサイトを約600℃に焼戻ししたときに得られる組織である。ソルバイトは、強度と靱性に優れるので、機械構造用鋼に適している。

Ⅲ-22 金属の水素ぜい性及び遅れ破壊に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 金属材料が室温付近で水素や水蒸気を含んだ環境にさらされると、引張試験による破断伸びや絞り、疲労強度が低下することがある。
- ② 室温における鉄中の水素の拡散係数は、トラップ効果のために高温からの外挿値より著しく増加する。
- ③ 腐食反応によって生じた水素が材料中に侵入し、拡散によって介在物や析出物に集積することで遅れ破壊の一因となる。
- ④ 金属表面において、水素はまずH<sub>2</sub>分子として物理吸着し、それが解離して2個のH原子となり、金属格子中に侵入する。
- ⑤ Ti, Zr, V, Nbなどでは、水素を吸収すると機械的に脆い水素化物を形成するため、靱性が損なわれる。

Ⅲ-23 鉄 (Fe) の電位-pH図に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

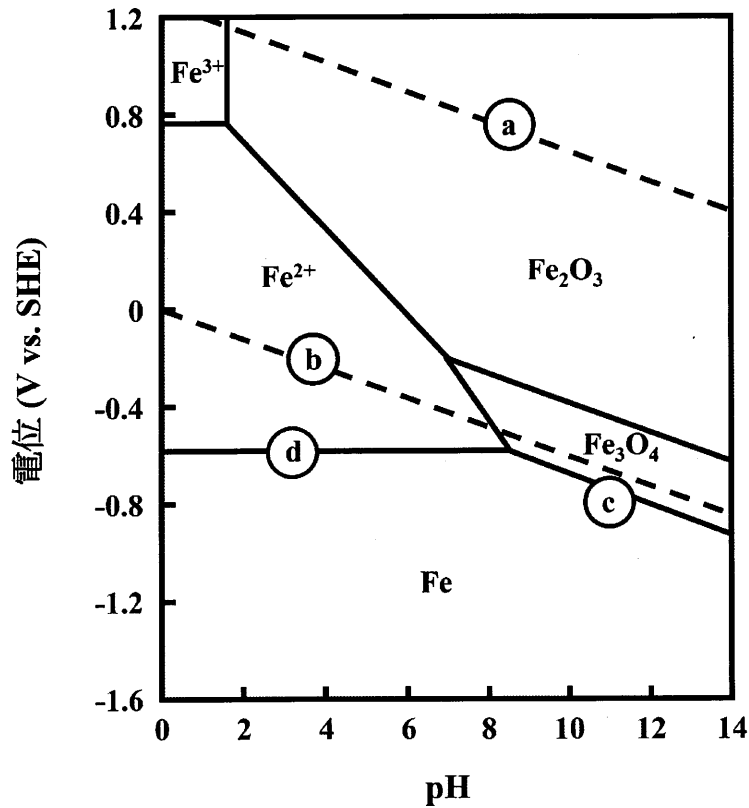


図 水溶液中における鉄の電位-pH図

- ① 図に示す電位-pH図は、水環境にある金属の化学平衡を表すために用いる。
- ② 破線aとbに挟まれた領域は水の安定領域を示している。破線bより卑な領域では酸素ガスが発生する。
- ③ 直線cはFeとFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>の固相共存状態を示す。
- ④ 水素イオンが豊富に存在する酸性水溶液中では、破線bよりも卑で直線dよりも貴な領域において鉄の溶解は起こりやすい。
- ⑤ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>又はFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が安定な領域は不働態域と定義される。

Ⅲ-24 亜鉛めっき又はスズ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 亜鉛めっきにピンホールが存在する場合、亜鉛は鉄に比べてイオン化傾向が大きいいため、亜鉛が優先的に腐食し鉄素地を保護する。
- ② 亜鉛めっき浴には酸性浴である硫酸亜鉛浴や塩化亜鉛浴、アルカリ浴であるシアン化物浴やジシケート浴がある。
- ③ 食品の缶詰のような密閉容器内ではスズめっきは鉄に対してアノードとして働くため犠牲防食作用により鉄を保護する。
- ④ 亜鉛めっきの耐食性を向上させる技術としてクロメート処理がある。近年、環境保護のために有害な3価クロムを6価クロムに置き換えた化成処理技術が主流になりつつある。
- ⑤ スズめっき後にはウィスカと呼ばれる針状の結晶が成長することがあるため、高密度の電子回路などでは回路が短絡する危険がある。

Ⅲ-25 金属の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 中性域の淡水中では、金属材料の腐食速度は金属表面への酸素の供給（拡散）速度によって律速する。
- ② 濃硝酸中及び高アルカリ環境においては、炭素鋼の表面は不働態化するため高い耐食性を発揮する。
- ③ ステンレス鋼、銅、チタン又はクロムと炭素鋼が接触すると炭素鋼がアノードとなり腐食する。
- ④ アルミニウムは、中性域では耐食性に優れているが、水溶液中に塩化物イオンが存在することで耐食性が低下し全面的な腐食が生じる。
- ⑤ チタンは、硝酸などの酸化性の酸には強いが、塩酸や硫酸などの非酸化性の酸には濃度や温度によっては腐食する。

Ⅲ-26 銅及びその合金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 CuにNiを添加したCu—Ni合金には、Niを10～30mass%含むキュプロニッケルと呼ばれる合金があり、海水用熱交換器管などに用いられる。
- ② 青銅はCuにSnを5～15mass%添加したCu—Sn合金であり、その耐食性はSnの含有量の増加につれて向上する。
- ③ 黄銅はCuにZnを45mass%まで添加したCu—Zn合金であり、その耐食性はZnの含有量の増加につれて低下する。
- ④ 銅は溶存酸素を含まない水や非酸化性の酸に対して熱力学的に安定であり、腐食傾向を持たない。
- ⑤ 銅は大気や天然水に対し耐食性を持つ。これは、この環境において表面に酸化銅、水酸化銅、あるいは塩基性炭酸銅などの腐食生成物皮膜が安定に存在することによる。

Ⅲ-27 金属の防食技術に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 金属の電位を貴な方向に移行させて不活性にするか、あるいは卑な方向に移行させて不働態を形成させる技術を電気防食と呼ぶ。
- ② 鋼板にスズめっきして防食したものをブリキ板、鋼板に亜鉛めっきして防食したものをトタン板と呼ぶ。
- ③ ポリリン酸塩やポリケイ酸塩などは腐食生成物や環境中の $\text{Ca}^{2+}$ や $\text{Mg}^{2+}$ などとの間で不溶性の沈殿皮膜を形成して腐食を抑制する。
- ④ 酸化力を持つクロム酸塩や亜硝酸塩などは金属表面を酸化して緻密な不働態皮膜を形成することで腐食を抑制する。
- ⑤ 鋼にAs, Sb, Biなどを添加することにより、腐食反応におけるカソード反応の過電圧を大きくすることでカソード反応を抑制し防食する。

Ⅲ-28 セメントコンクリート（以下コンクリート）環境における鉄筋の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 コンクリート環境中における鉄筋の腐食電位は、全面腐食、又は孔食が発生すると卑な方向に変化する。
- ② 正常なコンクリート構造物の細孔溶液のpHは12.5～13.5となり、鉄は不働態化する。
- ③ コンクリート中で高い耐食性を発揮する鉄筋として、亜鉛めっき鉄筋やステンレス鉄筋などがある。
- ④ セメントと水が混和して形成されているセメントペーストが大気中のCO<sub>2</sub>により中性化すると、鉄筋が脱不動態化するため全面腐食（均一腐食）が生じる。
- ⑤ コンクリート環境中で鉄筋が全面腐食する場合、鉄筋表面への塩化物イオンや二酸化炭素などの腐食発生因子が腐食速度を決定する主要因である。

Ⅲ-29 金属の引張試験について以下の間に答えよ。平行部の初期直径が10mm、標線間長さが100mmの丸棒の引張試験片に50kNの引張荷重を加えたところ、標線間は一様な伸び変形を示し、110mmまで伸びた。このとき、丸棒に作用する引張方向の真応力として、最も適切な値はどれか。ただし、変形前後の体積は一定とする。また、円周率は3.14とする。

- ① 157.2MPa
- ② 500.0MPa
- ③ 550.0MPa
- ④ 636.9MPa
- ⑤ 700.6MPa

Ⅲ-30 金属板の引張試験から得られる応力やひずみに関連する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① Al, Cuなどは、弾性変形から塑性変形への遷移境界が明瞭に現れないため、塑性ひずみが0.2%となる応力を0.2%耐力として、降伏強度を代用する場合がある。
- ② 真ひずみは、引張り試験中に変化する標線間距離を基準にした微小ひずみの総和によって定義される。自然対数関数を用いて表現されるため、対数ひずみとも呼ばれる。
- ③ 塑性変形における真応力 $\sigma$ と真ひずみ $\varepsilon$ の関係を $\sigma = C \cdot \varepsilon^n$ で近似した式をn乗硬化則と呼ぶ。 $n$ は加工硬化指数と呼ばれ、大きいほど材料は硬化しやすい。 $n$ が大きいほど張出し変形に対する成形性が低下する。
- ④ 板状の引張試験片の幅方向ひずみ $\varepsilon_w$ と板厚方向ひずみ $\varepsilon_t$ の比を $r = \varepsilon_w / \varepsilon_t$ で定義し、これをr値（ランクフォード値、塑性ひずみ比）と呼ぶ。r値は金属板の板厚異方性を表す。
- ⑤ r値が大きい材料は、一般に深絞り加工において、高い限界絞り比（LDR）を示すため、深絞り性が良好である。

Ⅲ-31 塑性ひずみ増分と応力の関係を示す式は、流れ則と呼ばれる。レビーミーゼスの流れ則に従う等方性の金属材料について、以下の間に答えよ。金属材料に、 $\sigma_1 = 400\text{MPa}$ 、 $\sigma_2 = 100\text{MPa}$ 、 $\sigma_3 = -200\text{MPa}$ の主応力が発生し、塑性変形状態にあったとする。このときの各方向の塑性ひずみ増分の比 $d\varepsilon_1 : d\varepsilon_2 : d\varepsilon_3$ を表す式として、最も適切なものはどれか。

- ① 4 : 1 : -2
- ② 1 : 0 : -1
- ③ 1 : -2 : -5
- ④ 5 : 2 : -1
- ⑤ 7 : 4 : 1



Ⅲ-32 加工熱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 加工熱処理は、熱処理による相変態と変形を組合せた加工法であり、通常の熱処理よりも強靱な鋼が得られる。
- ② 温間加工も加工熱処理の一種である。この温度域での加工は転位の運動が活発で、溶質原子との相互作用により強靱化される。
- ③ 通常、金属材料は高温になるにしたがって加工に対する変形抵抗は低下する。そして、変形中にひずみは回復し、さらに温度が上昇すると再結晶が同時進行する。
- ④ 熱間加工は、材料組織の調質を目的として行うことがある。空洞を圧接して消滅させ、材料全体を再結晶組織にして均一組織にすることや拡散を促進して偏析を解消できる。
- ⑤ 動的再結晶が生じている一定応力状態では平均再結晶粒径は一定となる。ひずみ速度が大きく、変形温度が低いほど、定常応力は高く、平均再結晶粒径は大きくなる。

Ⅲ-33 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 円筒深絞り加工のフランジ部に生じる円周方向圧縮応力により加工中に薄板にしわが発生するため、しわ抑え板を用いてこれを抑制する。しわ抑えに必要な適切な面圧は、薄板の降伏応力  $\sigma_Y$  と引張強度  $\sigma_B$  の平均値の1%程度である。
- ② 板厚  $t_0$  と素板直径  $D_0$  の比が  $t_0/D_0 \geq 0.025$  となる板の場合、しわ抑えが無くても深絞り加工が可能である。
- ③ ダイス肩半径は成形荷重に影響しないが、パンチ肩半径が板厚の5倍よりも小さいと、成形荷重が増加し、成形中に破断が生じやすくなる。
- ④ 1回の深絞り加工では、限界絞り比（LDR）を超えて加工することはできないが、中間的な直径のカップを成形して、これを再絞り加工することで最終的に大きな絞り比の加工ができる。
- ⑤ 加工中の破断は、フランジ部での流入抵抗がパンチ肩部の破断強度を上回ることにより生じる。このため、ダイスとしわ抑えを加熱し、パンチを冷却することでLDRを向上することができる。

Ⅲ-34 金属板の圧延に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 圧延中の広幅板材（幅／板厚が10を超える範囲）に発生する塑性変形は、幅方向の広がり小さいので無視し、厚さ方向の圧縮変形、長さ方向（圧延方向）の伸び変形のみを考慮すればよい。
- ② 上下各2本（合計4本）のロールからなる4段圧延機では、ワークロール半径を小さく抑えつつ、ワークロールのたわみを小さくするためにバックアップロールを設けている。
- ③ 圧延プロセスを大別すると、並べた複数の圧延機で素材を一方向に圧延する連続圧延機と、圧延機の前後で素材を往復させるリバース圧延機に分けられる。
- ④ 一般的な鋼板の熱間圧延では、パス間時間を変更することで材料組織を造り込む必要がある。仕上げ圧延では一般にリバース圧延を用いる。
- ⑤ 被圧延材の入口速度はロール周速よりも小さく、被圧延材の出口速度はロール周速よりも大きい。圧延出口でのロール周速に対する速度差の比は先進率と呼ばれ、連続圧延時の圧延特性を表す指標として用いられる。

Ⅲ-35 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 鍛造加工では素材内部に鍛流線が形成され、鍛造品の高強度化をはかることができる。
- ② 冷間鍛造では、寸法精度及び表面状態がよく、ネットシェイプ成形がねらえるが、素材の変形能が低いため割れが発生したり、高い変形抵抗による金型の損耗が問題となる。
- ③ 冷間で繰り返して鍛造を行う場合、加工硬化が大きくなり、割れが生じやすくなる。鍛造工程の間で中間焼なましを行うことで割れを回避する。
- ④ 円柱素材を平面金型で据え込み鍛造する場合、金型に生じる接触面圧は、接触面の全面で一様と考えることができる。
- ⑤ 据え込み鍛造において、金型に拘束されていない素材の長さが直径の3倍を超えると、加工時に座屈が生じる可能性がある。