

レベル3 一次 基礎試験問題（材料科学，製品，製造技術）のポイント

レベル3の一次試験における基礎試験のうち，材料科学，製品，製造技術に関する試験問題は，テキスト「非破壊試験技術者のための金属材料入門」及び「非破壊試験技術者のための金属材料概論」より出題されている。また，平成17年には「レベル3技術者のための材料科学及び認証システムに関する問題集」が発刊されている。テキストを十分に熟読し，問題集で習得の割合を確認することが望まれる。材料科学に関する出題は，正しい文章あるいは誤っている文章を，四者択一形式で選択する方式で，25問ほど出題されている。ここでは，いくつかの例題について解説する。

問1 純金属の性質と結晶構造に関する次の記述のうち，正しいものを一つ選び，記号で答えよ。

- (a) 銅は，体心立方格子の金属である。
- (b) 鉄，銅及びアルミニウムの比重を大きい順番に並べると，銅，鉄，そしてアルミニウムとなる。
- (c) 一般に，金属の多結晶体は異方性を有しているが，単結晶は等方的である。
- (d) 鉄，銅及びアルミニウムの融点を高い順番に並べると，銅，鉄，そしてアルミニウムとなる。

正答 (b)

金属の性質を覚えるには，金属がどのように使われてきて，現在どのように使われているかを考えるのがよからう。アルミニウムは，新幹線や航空機の車体に使われている。軽くなくては使えない。但し，純粋なアルミニウムは強度が低いので，添加元素を加えて熱処理により強度を高くしたアルミニウム合金が使われている。銅は，鉄より原子番号も大きく，結晶構造もより緻密な面心立方格子であるために比重は鉄より大きい。

人類が鉄を利用した鉄器時代は，銅を利用した青銅器時代より遅い。鉄は融点が高いので，精錬するのにより高温が必要であった。なお，青銅とは銅と錫の合金であり，錫と合金化することで融点は更に低くなる。一方，アルミニウムは銅より更に融点が高い。アルミニウムの原料はボーキサイトと呼ばれる酸化物である。アルミニウムは酸素との親和力が極めて強いので，精錬が難しく，融点が高いにもかかわらず，一般的に使用されるようになったのは電気精錬が可能になった近年である。

金属は原子が緻密に配列し，原子の周りを電子の集団（電子雲）が覆っている。パチンコの玉を箱に規則正しく配列するのに何種類かがあるという。金属も原子が規則正しく配列している。金属によって，配列の様式が異なる。立方体の8つの角隅に一個ずつと体積の中心に一個の原子が配列した体心立方格子と，立方体の8つの角隅に一個ずつと6つの面の中心に一個ずつの原子が配列した面心立方格子が代表的であり，この他，稠密（ちゅうみつ）六方格子がある。鉄は常温で体心立方格子であり，銅は面心立方格子であり，マグネシウムは，稠密六方格子の金属である。鉄は，温度によって安定な結晶構造が異なり，温度によって結晶構造を変化（変態）させる。このため，焼入れによる熱処理が可能になる。

一般に，体心立方格子は磁性があり，また，低温でじん性が低下する低温脆性を示す。面心立方格子の金属は，逆に磁性がなく，低温脆性を示さないのので，金属の性質とあわせて結晶構造を覚えておくとうい。

金属の結晶は，結晶の方位によって，一般に，ヤング率などの特性が異なる異方性を示す。音速もヤング率の関数であるので，結晶の方位で音速は変化する。しかし，金属を凝固させると，通常，熔融金属の中に無数の結晶の核が生じ，それぞれの核より，全くランダムに結晶が成長し，凝固を完了する。それぞれの核から成長した結晶粒の境界を結晶粒界といい，このような金属を多結晶体という。個々の結晶粒に異方性があっても，多くの結晶粒の集合体であるため，凝固条件やその後の処理で一定でない限り，結果として異方性は見られなくなる。

問2 次の熱処理に関する記述のうち，正しいものを一つ選び，記号で答えよ。

- (a) 高炭素鋼の焼入れには，600 程度の低温焼入れと，850 程度の高温焼入れがある。
- (b) 炭素鋼の焼入れとは，加熱してオーステナイト組織とした後に，炉内で徐冷することにより準安定な組織を生じさせる熱処理である。
- (c) 熱処理は鋼にのみ行われ，アルミニウムやステンレス鋼には行われない。
- (d) 鋼の焼入れの目的は，一般に硬いマルテンサイト組織を得ることを目的として行われる。

正答 (d)

金属材料は，適当な加熱あるいは冷却することで，その組織を変えるとともに，機械的性質を変えることがで

きる。熱処理には、焼ならし、焼なまし、焼入れ、焼戻しなどの種類があり、金属の種類や用途に応じて使い分けられる。

問1の解説で鉄は温度によって結晶構造を変化させることを述べた。このことは、熱処理を考える上で極めて重要である。青銅器時代について鉄器時代が始まることで大きな変革がもたらされている。例えば、戦国時代が始まった大きな要因の一つに、農作業に鉄器が用いられることで農業生産量が飛躍的に上がったこともあげられている。鉄器の極めて高い付加価値を熱処理が担っている。特に、焼入れは、この結晶構造が変わる現象(変態)を活用している。言葉は悪いが、「焼きいれたるか」にぎょっとする。鋼を高温に加熱すると、面心立方格子のオーステナイト組織となる。この状態から、鋼を水中に投入するなどして急冷すると、原子がゆっくりと拡散して規則正しい体心立方格子に変態することができず、突然の規則的な並び替えが起こり、結果として、炭素がフェライト中に過飽和に固溶して、結晶構造がゆがんだ状態のマルテンサイト組織となり、著しく硬くなる。

高炭素鋼は、600 においては、まだオーステナイト組織にはなり得ないので、600 から焼入れてもマルテンサイト変態は起こりようもなく、(a)の文章は誤りである。なお、変態の生じない、アルミニウム合金などを強化する熱処理方法としては、析出硬化を利用する方法がある。砂糖を水に大量に溶解させるには、水の温度を上げるのがよい。これを放っておくと、お湯の温度が下がり、やがて砂糖がコップの底に沈殿しているのを見ることがある。砂糖が水から析出した結果である。

金属も、高温で多量の合金元素を固溶させ、温度を下げると、ある温度で金属間化合物や炭化物が析出する。微細な析出物を均一に分散させることで、金属を強化できる。超ジュラルミンや超々ジュラルミンなどは、この析出現象を巧みに利用して強化したアルミニウム合金の傑作である。なお、熱処理による強化の他に、加工を行って加工硬化させることで強化する方法がある。次の例題を参考にしていきたい。

問3 次のアルミニウム合金に関する記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) アルミニウム合金は、大別して熱処理合金と非熱処理合金に分類されるが、熱処理合金は合金成分の析出硬化により機械的性質を向上させている。
- (b) アルミニウム合金は、融点が低く、加工しやすい利

- 点があるが、表面が酸化されやすく耐食性に劣る。
- (c) アルミニウム合金における熱処理合金とは、焼入れによって強さを改善した合金である。
- (d) 熱処理合金は、冷間加工による加工硬化で、強さと伸びを改善させたもので、加工硬化材と呼んでいる。

正答 (a)

正解が(a)であることを確認いただけたと思う。なお、アルミニウム(Al)は、酸素との親和力が強く、酸化しやすい金属ではあるが、アルミニウム合金の表面は緻密な Al_2O_3 で覆われている。アルミナ(Al_2O_3)はセラミック材料でもあり、耐食性に優れ、強固なセラミックの鎧に覆われているとあってよい。家庭で鉄のフェンスを使うと、すぐに錆びてしまうことがある。金額は少し高いが、アルミニウムのフェンスが用いられている。

問4 次の偏析に関する記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 偏析は、鋳鋼に特有なもので非鉄金属には生じない。
- (b) 中心部偏析は、圧延すると圧着され、偏析は生じない。
- (c) 中心部偏析は、低融点不純物が集積して発生する。
- (d) 偏析は、冷却速度の速い表層部で生じやすく、機械的性質に重要な影響を及ぼす。

正答 (c)

氷を良く観察すると、表層部はきれいに透き通っているが、内部は白く濁り、気泡などがあることを見受けられることがある。氷屋さんの氷は全体が透き通っているが、凝固過程で、不純物の多い内部の水を時々入れ替えるような話を昔に聞いたことがある。もちろん、このような操作を大きな鋼塊で行うことは、経済的損失があまりにも大きすぎる。金属もゆっくり凝固すると、より純度の高い金属が先に凝固し、不純物が濃縮されて偏析帯を形成するのである。

金属材料に関する分野は、溶接を含めて、基礎的現象から工業製品まで範囲が広い。紙面の関係で多くを解説できないが、ここでは基本的な現象に関していくつかを述べた。金属材料は古代より生活の道具や武器として使用されてきている。これら先人らの巧みに触れることは、むしろ興味あることであろう。系統立てて、知識を習得されることを期待している。

PT・PDレベル2 一次専門試験問題のポイント

PT・PDレベル2の新規一次試験については、2004年12月号の本欄で、一般と専門の例題を数問、更に、2006年1月号の本欄で一般問題を数問選んで解説した。

今回は、専門問題の中で相対的に正答率の低い問題と類似の例題を選んで解説する。専門問題は浸透探傷試験の規格を含む試験体への適用の実際、器材及びその管理、きずの発生原因及び指示模様の特徴等の問題が出題される。問題は正しいもの又は誤っているものを四者択一で選ぶ形式であり、30問以上が出題される。合格には70%以上の正答が必要となる。

問1 次の文は、指示模様の評価について述べたものである。最も適切なものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 試験体の良否を決定するには指示模様の寸法、形状及び方向を正確に知る必要がある。
- (b) 試験体の良否を決定するには指示模様の箇所の現像剤を取り除き、その部分にあるきずの寸法、形状及び方向を正確に知る必要がある。
- (c) 指示模様の寸法を実際のきずの寸法として評価するのが原則である。
- (d) 指示模様の寸法から実際のきずの寸法を推定して評価するのが一般的である。

正答 (b)

指示模様の評価とは、浸透探傷試験において、指示模様の観察、解釈を行ったあとに、与えられた受入基準に照らして満足しているかどうかを判断することである。この場合、浸透探傷試験で得られる指示模様は実際のきずの大きさよりも拡大された像となって現れることを忘れてはならない。

受入基準を適用する場合は指示模様の寸法を示しているのか、実際のきずの寸法を示しているのかを明確にし、誤りのない評価ができるようにしなければならない。ここで大切なことは、実際にきずが原因で発生する破壊はきずの種類と実寸法に依存するものであり、指示模様の寸法とは異なることである。すなわち、試験体の良否を知るためには、実際のきず寸法の大きさを知ることが必要となる。したがって、(a)の指示模様の寸法、形状及び方向を正確に知ることは大切なことではあるが、試験

体の良否を決定するには正しい方法とはいえない。(b)の現像剤の塗膜を取り除ききずそのものの寸法、形状及び方向を正確に知ることが、正答となる。また、(c)はあきらかに誤りであり、(d)も指示模様の寸法は実際のきずの寸法よりも拡大されており、その拡大率を推定することは不可能であるため誤っている。

問2 次の文は、水エアゾール洗浄剤を用いた水洗性浸透探傷試験について述べたものである。最も一般的な実施方法の一つを選び、記号で答えよ。

- (a) 浸透処理した試験体に水エアゾール洗浄液を一定の距離に保ちながら吹きつけ、次に表面に付着している洗浄水をウエスで拭きとる。
- (b) 余剰浸透液をできるだけウエス等で拭き取り、次に試験体に水エアゾール洗浄液を一定の距離に保ちながら吹きつけ、最後に表面に付着している洗浄水をウエスで拭き取る。
- (c) 余剰浸透液を乾燥したウエス等で拭き取り、次に水エアゾール洗浄液で軽く湿らせたウエスで残りの余剰浸透液を除去する。
- (d) 洗浄は、まず水スプレーにより予備洗浄を行って、ほとんど余剰浸透液がない状態の試験体に、再度水エアゾール洗浄液を一定の距離に保ちながら吹きつけ、最後に表面に付着している洗浄水をウエスで拭き取る。

正答 (b)

ねじ部、キー溝など凹凸形状を有する試験体の検査は水洗性浸透探傷試験が望ましいが、一般的に行われている水洗性浸透探傷試験は、水道設備、洗浄処理装置、廃水処理設備等が必要であるため、現場での適用にかなり制限がある。そのため、洗浄水をエアゾール化することで、特別な設備がなくとも水洗性浸透探傷試験が行えるように、水エアゾール洗浄剤を用いた水洗性浸透探傷試験が開発された。この方法は、手順等は普通的水洗性浸透探傷試験と同じであるが、浸透処理後直ちに水エアゾール洗浄剤を適用すると水洗剤の使用量が多くなりすぎ、好ましくない。そのため、水エアゾール洗浄剤を適用する前に余剰浸透液をできるだけウエス等で拭き取っておくことが望ましい。したがって、(a)は誤りであり、(b)が正答となる。(c)の水エアゾール洗浄剤をウエスに湿

らせ余剰浸透液を拭き取ることは溶剤除去性浸透探傷試験と同じ手法となり、水洗性浸透探傷試験の特徴を生かせないため、誤りとなる。(d)の予備洗浄という方法は後乳化浸透探傷試験の方法であり、ほとんど余剰浸透液がない状態の試験体に、再度水エアゾール洗浄液を吹き付けることは、過洗浄の恐れがあるため誤った方法である。

問3 次の文は、磁粉探傷試験と比べて浸透探傷試験の方が有利であると考えられる場合について述べたものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 鋳造品に発生する円形状のきずが検出対象となる場合。
- (b) 鍛鋼品に発生する幅の狭い割れが検出対象となる場合。
- (c) 鋼溶接部に発生する疲労割れが検出対象となる場合。
- (d) 鋼構造物の溶接部のように、薄い酸化皮膜がある表面を探傷しようとする場合。

正答 (a)

磁粉探傷試験は浸透探傷試験とともに表面きずに対して有効な手法としてよく比較して説明されるので、それぞれの特徴をしっかりと把握しておくことが必要である。浸透探傷試験は、金属材料、非金属材料を含め、探傷剤で侵されないもの及び吸湿性のないものであればすべての材料・製品の探傷に適用できる。また、浸透探傷試験は液体を使用するため、きずの探傷に方向性がなく、一度の探傷試験ですべての方向のきずを探傷することができる。それに対し、磁粉探傷試験は、適用材料は強磁性体に限られ、きずの検出については試験体に与えられた磁束線の方向に対し、垂直方向のきずが最も現れやすく、平行に近づくほど現れにくくなる。また、ピンホールのような円形状のきずも検出が困難である。したがって、(a)が正答となる。(b)の幅の狭い割れや(c)の疲労割れはきずが密着していることがあり、浸透液が浸透しづらく検出が困難な場合がある。そのため、一般に試験体の材質が強磁性体で割れの検出を対象とする場合は浸透探傷試験より磁粉探傷試験を適用することが多い。また、(d)の試験面に薄い酸化皮膜がある場合は、きずの開口部がふさがれて検出されない可能性があるため磁粉探傷の方が検出性がよいとされている。したがって、(b)、(c)、(d)とも浸透探傷試験の方が有利ということは言えない。

問4 次の文は、後乳化性蛍光浸透探傷試験(油ベース乳化剤)の特徴について述べたものである。誤っているものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 表面粗さが6S程度のなめらかな鋳肌や 以上の研削あるいは研磨面の試験体に適用できる。
- (b) この方法は、過洗浄になりにくいので比較的幅のある浅いきずの探傷に適しているが、微細なきずの検出は溶剤除去性蛍光浸透探傷試験よりも劣る。
- (c) この探傷試験に使用する乳化剤は水分や浸透液の混入により性能が変化するので管理が必要であり、また、乳化時間の調整が難しい。
- (d) 浸透液には乳化剤を含んでいないため、水分の混入や温度の影響による性能の低下が少ない。

正答 (b)

後乳化性浸透探傷試験と水洗性浸透探傷試験との相違点は、水洗性浸透探傷試験では浸透液に乳化剤が含まれているので、浸透液はそのまま水洗可能であるが、後乳化浸透探傷試験で使用する浸透液には乳化剤が含まれておらず、浸透処理後あらためて乳化剤を浸透液塗膜表面に適用し、浸透液と乳化剤が混ざる一定の乳化時間経過後でなければ水洗できない点である。乳化時間は水洗により試験体表面の余剰浸透液を除去するために必要な最小時間が必要であり、長くても短くてもきずの検出に悪影響を与えるので、乳化時間は試験体ごとに正確に把握しておく必要がある。そのため、試験体の形状が複雑なものや表面粗さの粗いものは試験体表面の浸透液皮膜厚さが一定にはならないため後乳化性浸透探傷試験に不向きとされている。逆に、試験体表面粗さになめらかなものは後乳化性浸透探傷試験に適した試験体といえる。また、油ベース乳化剤は水分や浸透液の混入により著しく性能が変化するので特に管理が必要である。以上のことから、(a)、(c)、(d)は正しい文章である。また、この方法は過洗浄になる恐れが少なく、他の探傷方法に比べ検出力は一般に高い。したがって、(b)が正答となる。

以上これまで出題されてきた問題の傾向を基にPT2、PD2に関する専門問題を解説してきた。

これからレベル2の資格を取得しようとする方は、本解説及び前回の解説を参考にして浸透探傷試験及び、実技参考書、問題集等の内容をよく学習し、一次試験を突破されることを切に望むものである。