

身近な金属の
ミクロ組織を読む

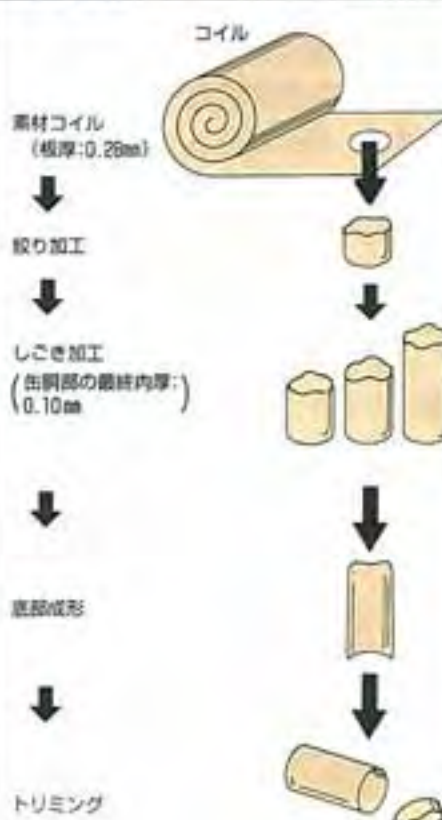
第4回



はじめに

国税庁によれば、昨年一年間に飲まれたアルコールの量は約960万キロリットル(1993年)で、その約4分の3すなわち700万キロリットルがビールだといふ。日本ではじめて缶入りビールが生産されたのは1958年(昭和33年)のことであった。はじめはブリキを使用した接合缶であったが、1970年ごろから「絞り・しごき缶(DI成形缶)」が国内で生産され始めた。現在ではアルミニウムを素材としたオールアルミDI缶が主流となっている。

【図1】絞り・しごきによるボディの成形工程



シリーズ●材料の素顔に迫る 缶ビールの缶はなぜ強い?

いよいよビールのおいしい季節になりました。とくに汗をかいた後、炎天下で飲むビールはたまりません。その楽しみを身近なものにしたのが缶ビール、とくにアルミ缶の普及です。あの薄いアルミ缶のどこに、落としても壊れないほどの強さが秘められているのか、今回もミクロの分析技術が迫ります。

当社相談役◎邦武 立郎

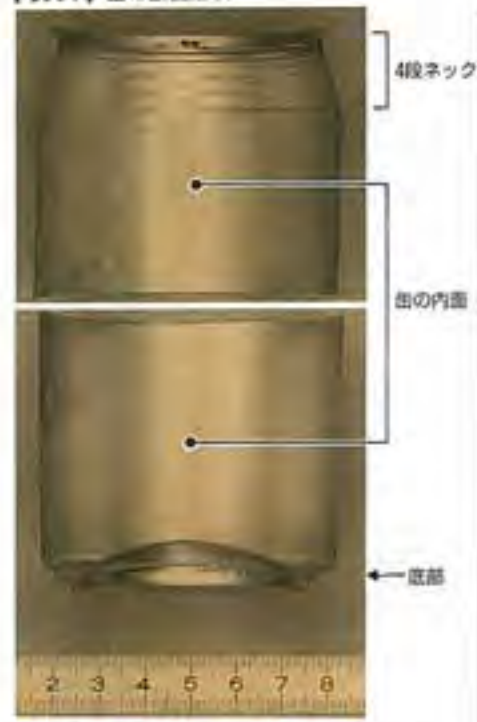
缶の形状と組成

調査したのは、国産4社の市販缶ビールである[表1](注1)。350ml缶については21銘柄、500ml缶については9銘柄である。スチール缶1銘柄を除いては、すべてアルミ缶であり、ここではアルミ缶についてだけ述べることにする。缶は、ビールメーカーの違いに拘わらず、ほとんど同様の形状を有していた。すなわち、ネック部は4段で、底部の形状も類似している[写真1]。すべての缶について、開缶後もタブが脱落しない、いわゆる「スティック・オン・タブ(SOT)」である。[表2]に、缶の重量と各部の寸法の代表値を示す。

ビール缶の各部の肉厚を測定した結果を[表3]にまとめた。ボディとエンドは巻縮めによって固定されている[写真2]。

ビール缶の化学成分を[表4]に示す。ボディは、MnとMgをそれぞれ1%程度含有するアルミニウム合金(JIS H4000 3004相当)である。一方、

【写真1】缶の断面形状



【写真2】ボディとエンドの巻縮め状況



【写真3】ビール缶の顕微鏡組織

【表1】調査したビール缶の種類

缶の容量	缶の材質	ビールメーカー	銘柄の種類
350 ml	アルミニウム	A	6
		B	6
		C	5
		D	3
500 ml	アルミニウム	A	1
		B	1
		C	5
		D	1
スチール	C	1	

【表2】ビール缶の各部寸法

缶の種類	容量 (ml)	直径 (mm)			高さ H (mm)
		D	Dt	Db	
350 ml	17.0	55.7	59.6	54.2	122.4
500 ml	21.7	65.9	69.5	56.5	166.8

【表3】ビール缶の各部肉厚

缶の種類	缶の部位	肉厚 (mm)	
		ボディ	エンド
350 ml	側部	0.08~0.10	0.25~0.28
	エンド	0.25~0.27	0.10~0.11
500 ml	側部	0.29~0.35	0.25
	エンド	0.25	0.25

【表4】ビール缶の化学成分 a) ボディ

銘柄	缶の材質	化学成分 (wt.%)							
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
B	F	0.24	0.43	0.25	1.17	1.19	0.018	0.018	0.033
C	J	0.30	0.45	0.24	1.04	1.35	0.010	0.084	0.036

*1 4社、5銘柄についての分析値
*2 タブには、ホワイト(メタリック)色のものと、ゴールド色のものとあり、それぞれについて多数のタブを一括分析。

エンドとタブは、Mgを4.5%程度含有するアルミニウム合金(JIS H4000 5182相当)である。ボディ部の金属組織を顕微鏡で観察すると、地に一様に分散した細かい析出物のほかに、2~6μmの大きさの分散粒子が見える[写真3]。これらはいずれも、Al、Mn、Fe、Siなどからなる金属間化合物である(注2)³⁾。缶胴部の硬さを測定した結果、MHV100(荷重100g)程度であった。

またビール缶の内外面には、内面で約4μm、外面で4~10μm(塗装の厚さを含む)のコーティングが施されている。

調査結果のまとめ

市販のビール缶について調査してみたが、ほとんどがアルミニウム(合金)のDI缶である。アルミニウムを主体とする金属間化合物が地に一様に分散した金属組織を呈している。ボディの肉厚は0.1mm程度で、文字通り紙のような薄さである。ボディとエンドは巻縮めされている。缶の強度を高めるために、アルミニウム合金を材料として用いた上、さらにネック(4段ネック)や底の形状に工夫が凝らされている。また内外面には数μm程度のコーティングが施されている。

遅れ破壊

とはなにか?

もう半世紀以上も前のことになりませんが、「遅れ破壊」というものが当時のエンジニアを悩ませていました。鉄道レールのいわゆる鋼の白点に起因する疲労破壊、あるいは天然ガス採取パイプの硫化水素による破壊などがそれです。いずれも現在では原因が究明され、対策が講じられていますが、本質的な解明が始まったのは、ついこの間の1950年代といわれ、そのメカニズムはまだ完全に解明されたわけではありません。

遅れ破壊ってなに?

英語では、Delayed Fracture or Crackと呼ばれ、通常、大気環境下で静荷重・常温にて発生する、水素による鋼の脆性破壊のことを意味します。より広い意味では、荷重が負荷される時間経過後に突然破壊する現象すべてを含みます。ここでは通常の遅れ破壊について述べます。

水素が入るとなぜ脆化する?

微量の水素が破壊のメカニズムにどのように関係しているのか、次の3つのモデルが考えられていますが、まだ完全に解明されたわけではありません。①面圧説: 結晶の欠陥部、非金属介在物や析出物の界面に分子状水素として析出し、ボイドが発生する。ボイド内には大きなガス圧力が作用し、破壊に至る。単純な計算では、0.3ppm程度の水素濃度で2000MPaの内圧に達する。②凝集力低下説: 材料に先在する

水素が応力勾配のある場合にボイド先端に集積し、その水素が鉄の原子間結合力を弱める。粒界でのへき開割れを説明する説。③水素と転位の相互作用説: 単なる応力勾配では水素の集積は数倍程度にしかならないが、実際には転位が水素を運ぶため、相当量の水素の集積が可能になる(転位輸送説)。また水素によって転位が動きやすくなり、亀裂の形成が助長される。

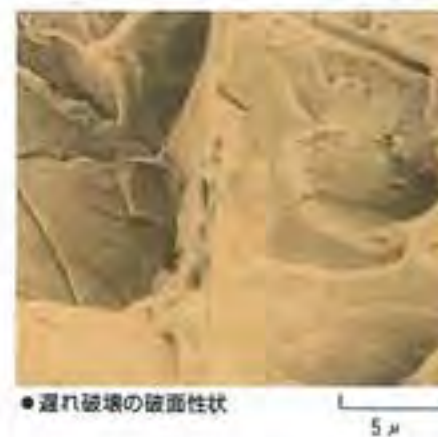
水素はどうして鋼に入る?

いわゆる腐食反応による侵入の場合、次のようなカソード反応で発生する水素が鋼に入ります。[アノード反応] $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ [カソード反応] $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ (酸性) $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ (中性またはアルカリ性) 水溶液中からの水素吸収については、水和プロトン(H₃O⁺)からのH⁺の離脱および表面への吸着による侵入(R.D. McCright)があります。水素ガス環境の場合、ファンデルワースの静電引力によって金属表面に吸着し、さらに電子の交換を経て化学吸着すると考えられています。

なお、腐食液中あるいは金属表面に触媒毒が存在すると水素が入りやすくなります。これは触媒毒の陰イオンが鉄の表面に吸着すると、化学吸着している水素との結合エネルギーを下げたり入りやすくなるためといわれています。

遅れ破壊はどんなとき起こる?

大気環境で問題になる低合金焼戻しマルテンサイト鋼(0.2C-Cr, 0.37C-Cr-Moなど)では、引張強さ: 1200MPa以上、硬さ: HRC340以上で破壊感受性が急増します。硫化水素環境となるときさらに限界引張強さは低くなります(35℃、0.5%酢酸水溶液、H₂S飽和にて限界引張強さ700MPa)。また、変形速度が遅くなると脆化が著し



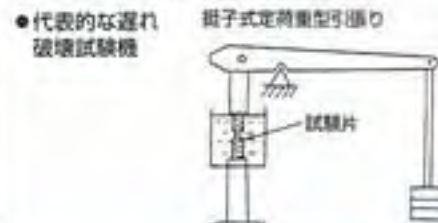
くることが明らかになっていきます。そのほか、結晶粒の大きさ、微量元素(Sb, As, P, Sn)、温度なども影響を与えます。



どんな対策がある?

鋼の製造プロセスで真空脱ガス処理などの脱水素処理を実施します。また構造物の設計の際に、水素が入らないよう充分配慮し、適切な引張強度と硬さを持った材料を選択することが必要です。アノード、カソード反応を防止するメッキ処理なども効果はありますが、完全とはいえません。そのほか、表面層を脱炭処理して表面の硬さを下げることも遅れ破壊を防止することができます。硫化水素環境の場合、旧オーステナイト粒界への不純物の偏析(とくにP, Sなど)と炭化物・窒化物の微細析出を防止するため、鋼の高純度化やMo添加などの対策が有効です。

いずれにしても、温度・応力・環境などの使用条件に応じて適切な材料と強度レベル(熱処理条件)を選択することが必要です。そのため、使用環境でのシミュレーションテストで安全性を確認しておくことをお勧めします。



話題 TOPICS

鹿島製鉄所



高炉3基を有し、年産750万トンの粗鋼生産能力を誇ることに、あの「鹿島アントラーズ」を育てた住友金属鹿島製鉄所——この最新鋭製鉄所の試験グループ・開発試験グループを当社に迎え入れ、7月1日付で「鹿島事業部」として発足することになりました。かねてより多岐であった開発の拠点として、鹿島事業部を大きく育て上げ、みなさま方のお役に立つよう一層の努力を傾注していきたくと考えています。なにとぞ旧日のお引立てとご支援を心からお願い申し上げます。(詳細は次号でご紹介します)