

UME-333	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） 破壊事故—失敗知識の活用— 小林英男 編著 共立出版（2007年）p.135～		本資料の作成者名 梅村文夫
整理番号	資料のタイトル スクープ用アルミニウム合金製容器の破壊（2000年）		
失敗事例のタイトル 検査不十分のために生じたアルミニウム合金製容器の破壊		一次原因（材料要素） 粒界腐食、 応力腐食割れ	
機種 スクープ（水中自動呼吸潜水器）	部品 容器	材料 アルミニウム合金 (A-6351-T6)（備考1）	使用環境 空気（湿分、塩分を含む）
損傷発生時の状況 <p>水中自動呼吸潜水器（通常、スクープあるいはアクアラングと呼ばれている）用のアルミニウム合金（A-6351-T6）製の容器（備考2）に空気を充填し、充填圧力が20.1Mpa(205kgf/cm²)に達したので充填作業を終了し、容器交換を行おうとした。その時、容器が突然破裂した（2000年）。容器は2個の破片となって飛散し、充填ホースが飛び跳ね、作業員が打撲を負った。</p> <p>沖縄の容器検査所の2001年1月から4月までの検査の結果を調査したところ、A-6061-T6（備考1）容器487本中19本のねじ部内面に、軸方向にき裂が検出されている事実が判明した。そのうちの長いき裂のある4本について調査したところ、き裂の長さは8～11mm、深さは1～18mmに達していた。</p>			
調査内容とその結果 <p>破面は容器ねじ部で左右対称に2つの破面から成る。いずれも古い破面と新生破面から成り、古い破面を起点として、延性破壊で急速に破裂した事が分る。起点となった古い破面は、容器ねじ部表面を起点とする軸方向き裂であり、粒界腐食を起点として発生していた。き裂は、ねじ部表面から肩部を通り、胴部へ向けて容器肉厚の内部を進展していた。破面の形態は、サムネイル（親指のつめ）の形状を示してた。これは応力腐食割れの特性を示す破面形態である。</p> <p>容器縦断面の組織検査の結果、容器のねじ部と肩部で結晶粒の粗大化と軸方向に伸びた形状異方性が確認された。結晶粒の粗大化と形状異方性は、容器頭部の製作時の温間加工（備考3参照）と、その後の溶体化処理の再結晶によって生じたと判断できる。結晶粒の粗大化と形状異方性は、粒界腐食感受性と応力腐食割れ感受性を著しく増大させる。</p> <p>粒界腐食には腐食環境、応力腐食割れには腐食環境と引張応力の存在が不可欠である。調査した多くの容器に水分、塩分の侵入の痕跡と、内面の腐食が認められた。</p> <p>容器への水分、塩分侵入の可能性を調査した。通常、容器への空気充てんは、親容器を介して行う。圧縮機、ドレンセパレータ、活性炭槽の性能不十分によって、親容器への水分、塩分侵入があれば、当然、容器へも水分、塩分が浸入する。親容器への水分、塩分侵入がなくても、空気充てん時に容器バルブ内に水分、塩分の滞留があれば、水分、塩分は容器へ浸入する。また、空気充てん前に、容器残圧不足によって、水分、塩分がすでに浸入していたことも考えられる。原因は特定できないが、これらの単独または組合せにより、水分、塩分が侵入したと推測される。</p>			
損傷発生のシナリオ <p>容器頭部の製作時の温間加工（備考2参照）と溶体化処理の再結晶によって、ねじ部の再結晶の粗大化と形状異方性が生じた。一方、充てん作業時に、容器へ水分、塩分が浸入した。ねじ部表面の軸方向（結晶粒の伸ばされた方向）に粒界腐食が経年的に生じ、容器の内圧による周方向引張応力の存在によって応力腐食割れとなり、サムネイル状のき裂として進展した。充てん作業時に、このき裂を起点として破裂に到った。</p> <p>なお、材料（A-6351-T6）は粒界腐食、応力腐食割れの感受性が高い材料であり材料の選択の不適切が破損の原因のひとつとなる。現在の容器はすべてA-6351-T6からA-6061-T6に変更されているが、A-6061-T6でも同様のき裂が発生している（既述）。</p>			
対策（損傷発生時にとられた対策あるいは現在とるべきと考えられる対策） <p>容器保安規則の改正が行われ、現状の5年に1回実施する容器再検査を1年に1回実施することにした。これに加えて、容器ねじ部の目視検査（外観検査）を行い、ねじ部の容器軸方向に割れなどの有害な傷または異常がないかを確認することが定められた。</p>			

教訓			
A-6351-T6 容器の破裂事故は、すでに報告されていた事故であった。情報収集をきちんとしていたなら、防止できた事例である。			
備考			
<p>(1) A-6351 : Al-Mg-Si 系アルミニウム合金 A-6061 : Al-Mg-Si-Cu 系アルミニウム合金 T6 : 溶体化処理後人工時効硬化処理をしたもの</p> <p>(2) アルミニウム合金製容器、容量 10.3ℓ、外径 185 mm、厚さ 13.5 mm、長さ 628 mm、 最高充てん圧力 21.6Mpa(220kgf/cm²)</p> <p>(3) 温間加工 : 通常室温で実施する加工を冷間加工と呼んでいる。変形抵抗を下げるため再結晶温度以上 (アルミニウム合金の場合通常 400~480℃以上) に加熱して実施する加工を熱間加工と呼んでいる。温間加工は、室温より高く、熱間加工温度より低い温度 (再結晶温度以下) で加工する方法。なお、アルミニウム合金の再結晶温度は、合金元素によって異なるが、200~350℃の温度域である。</p>			
主要因	教訓とすべき対象者		
チェックボックス	チェックボックス		
<input type="checkbox"/>	当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="radio"/>	設計者
<input type="radio"/>	情報伝達不備・不足		製作者 / 建設担当者
<input type="radio"/>	担当者不勉強/教育不十分/意識不測	<input type="radio"/>	検査者
	指示ミス		使用者
	うっかり、ぼんやり		メンテナンス者
	その他		その他