

SIN-042	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） 非公開資料		本資料の 作成者名 篠原孝順
整理番号 SIN-042	資料のタイトル		
失敗事例のタイトル ガス反応器の始動予熱器チューブの割れ			一次原因（材料要素） 水素脆化割れ
機種 化学プラント、反応器、熱交換器	部品 ガス加熱器チューブ	材料 Modified 9Cr-1Mo 鋼 SA-335 (P91)、低合金鋼	概略の寸法
損傷発生時の状況 プラントのインシヤルスタート・アップで当該予熱器（チューブ内プロセスガス：350℃、水素分圧 110Kg/cm ² ）の運転開始 2 日後、プラント全系の緊急停止により一旦クールダウン。5 日後再スタートして 2 日間運転後、ガス反応系から切離し燃料供給を停止したところ、チューブ 2 箇所からプロセスガスの漏出が起った。損傷箇所を補修して運転を開始したが、再び燃料供給停止後にチューブ 3 箇所からプロセスガスの漏出が起った。			
調査内容とその結果 損傷チューブの諸検査、再現試験、関連情報収集・解析など：破損は溶接金属・HAZ 部で起っており、擬似劈開&粒界割れである。損傷部の硬度は 360～470HV と非常に高いことと考え合わせ、運転中にプロセスガスから侵入した水素が運転停止後残留して起した水素脆化割れと判断された。			
損傷発生のシナリオ これまで 2 1/4Cr-1Mo 鋼（一部 304H 鋼）を使用してきたが、プロセスライセンサーの新規選定に基づき高強度の Modified 9Cr-1Mo 鋼にグレードアップしたところ、チューブの現地組立て溶接部で運転停止後に残留した水素によって割れが発生した。現地溶接の PWHT の温度 x 時間条件は、検査記録を見る限り規定（ASME B31.3）通り行われていた。化学プラントで使用する Cr-Mo 鋼溶接部の硬度は、同規定により PWHT 後 253HV 以下でなければならない。しかし再現試験の結果、Modified 9Cr-1Mo 鋼の溶接金属・HAZ 部は規程の PWHT 後も 253HV 以下にはならないことが確認された。			
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） 従来から実績の多い 2 1/4Cr-1Mo 鋼（一部 304H 鋼）および全 304H 鋼での再製作の 2 ケースが検討されたが、プラントオーナーの意向により 304H 鋼が採用された。以降全く問題は起っていない。			
教訓 もともと超臨界圧スチーム用に開発された Modified 9Cr-1Mo 鋼の化学プラントでの使用実績はまだ少ないのに、十分な予備検討も行わずに採用したことに間違いがある。特に、始動予熱器は反応系が立ち上がったところで直ちに停止され、冷却されるという特殊な使用条件下に置かれることへの配慮に欠けていたことが大きな問題である。 新材料の採用に対する慎重な対応が求められる。			
備考			
失敗の主要因		誰が判断した結果生じた失敗と考えられるか	
チェックボックス（を記入：複数可）		チェックボックス（直接作業者の場合、監督者の場合△を記入）	
	当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="radio"/>	設計者
	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/意識不足		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