

機械的性質

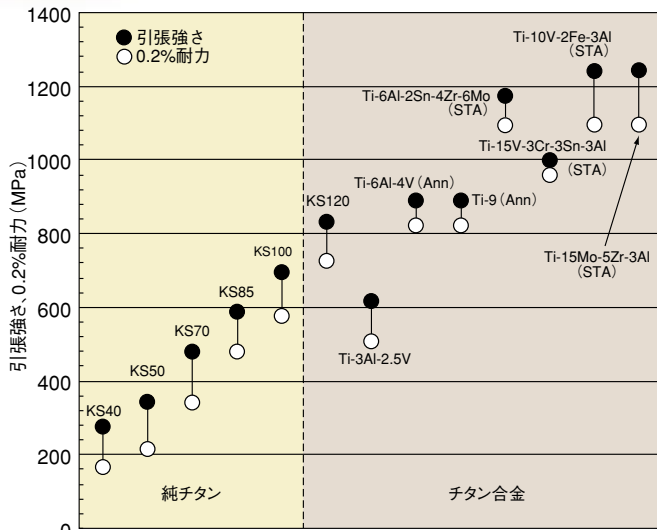


図1. 純チタンおよび各種チタン合金の引張強さと0.2%耐力(規格min値)

表1. 純チタン、チタン合金ならびに鉄系材料の代表的特性(板材)

材質	引張方向	代表値					
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	ビッカース硬度 (Hv)	エリクセン値 (mm)	
純チタン	KS40	T	238	332	45.9	117	11.2
		L	181	337	48.2		
	KS50	T	272	387	41.6	144	10.3
		L	222	391	38.7		
	KS70	T	429	551	26.0	202	6.9
		L	411	545	25.9		
チタン合金	Ti-6Al-4V	T	888	957	10.1	320	-
		L	905	959	10.3		
	Ti-3Al-2.5V	T	615	661	23.0	240	-
		L	501	654	20.0		
	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	T	789	828	19.8	260	7.9
		L	772	823	19.1		
軟鋼	T	169	303	45.0	88	10.1	
	L	167	301	46.5			
ステンレス (SUS304)	T	263	648	58.0	168	13.0	
	L	264	662	55.7			

■純チタンは275~590MPaの引張強さを有し、この強度は主として酸素量、鉄量によってコントロールします。これらの量が多いほど、強度が高くなります。チタン合金は引張強さが620MPaのTi-3Al-2.5Vから1250MPaのTi-15Mo-5Zr-3Alまで各種生産しています(引張強さはいずれも神鋼規格min値)。

図1に純チタンおよび各種チタン合金の引張強さと耐力を、表1に純チタンと代表的なチタン合金の引張特性と硬さの例を示します。

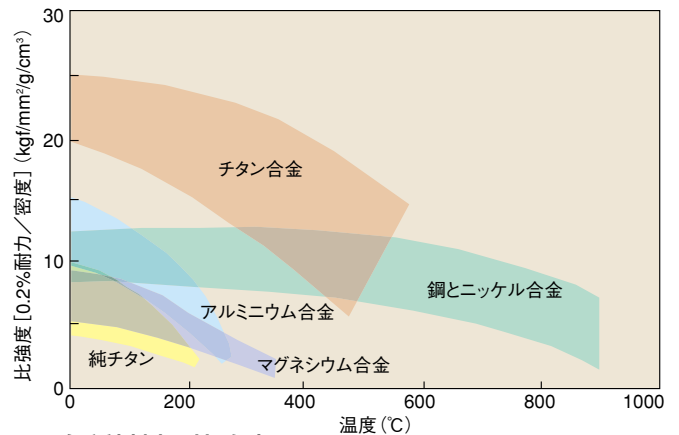


図2. 各種材料の比強度

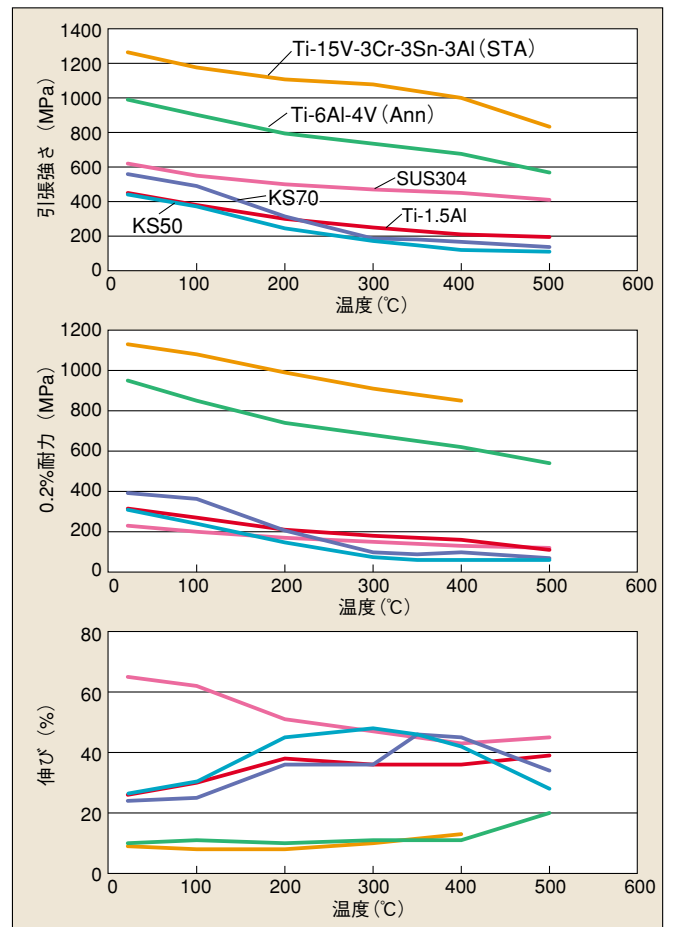


図3. 純チタン、各種チタン合金およびSUS304の室温・高温引張特性

■チタン合金の比強度は600°Cまでの温度域で他の金属材料よりも優れています(図2)。

■高温特性

純チタンは強度と耐クリープ性等の点から、約300°Cまで安定して使用できます。一方チタン合金は約500°Cまで高い強度を有しています(図3)。

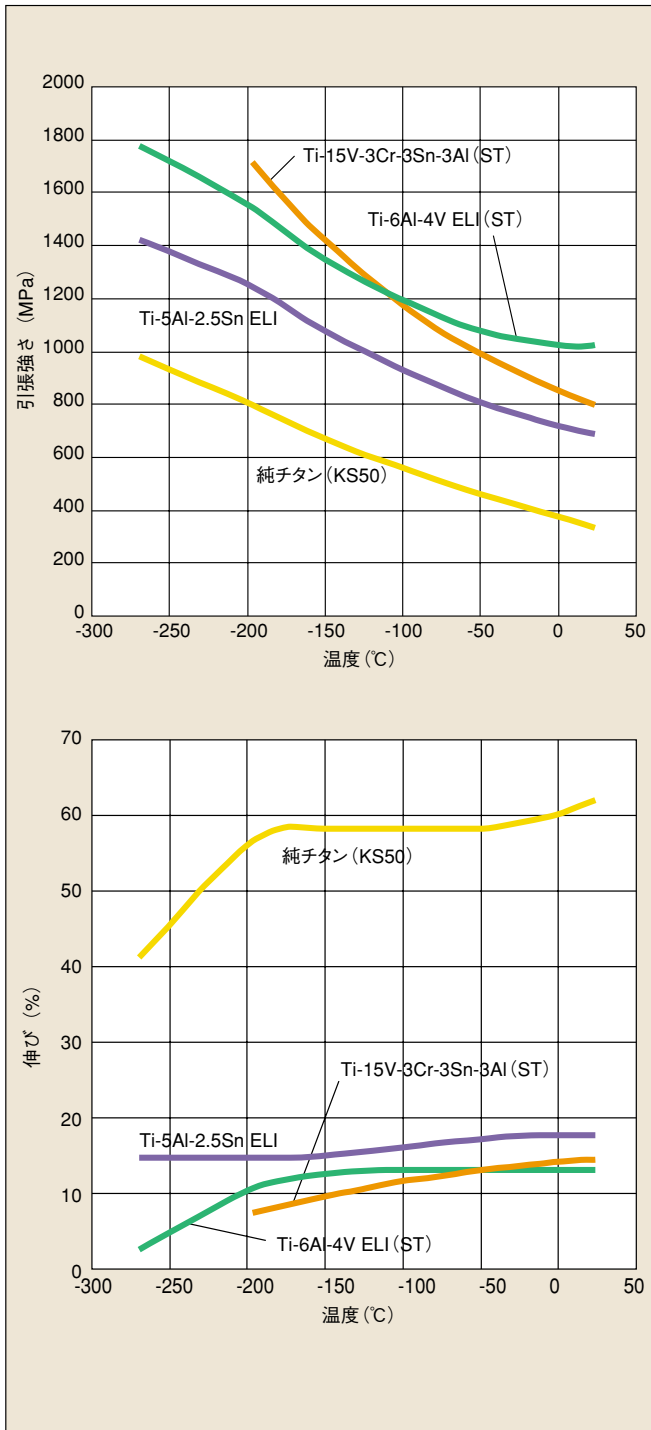


図4.各種チタン合金の低温引張性質

■低温特性

純チタン、チタン合金のいずれも極低温まで脆化しません。特に純チタンとTi-5Al-2.5Sn ELIは4.2K(-269°C)でも使用可能です(図4)。

■疲労特性

疲労強度(10⁷サイクル)は引張強さの約50%で、溶接による疲労強度の大きな低下もありません(図5、6)。また、純チタンおよびチタン合金のいずれも海水中でも疲労強度はほとんど低下しません。

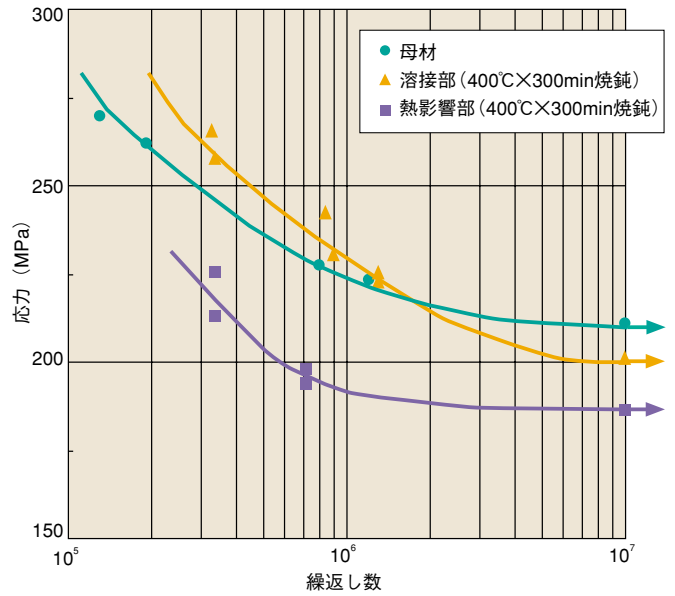


図5.純チタン(KS50)の母材および溶接部の疲労特性

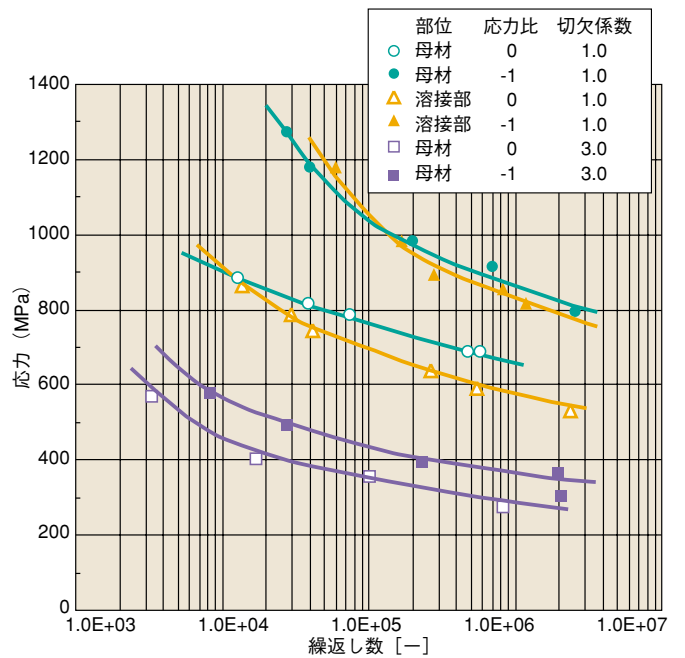
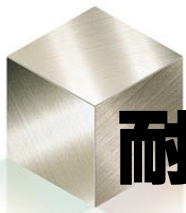


図6.Ti-6Al-4Vの母材および溶接部の疲労特性

■靱性

チタン合金の破壊靱性は28~108MPa・m^{1/2}であり引張耐力とは負の相関関係にあります。破壊靱性はミクロ組織にも依存しており、針状組織を有する材料では破壊靱性が高くなります。



耐食性

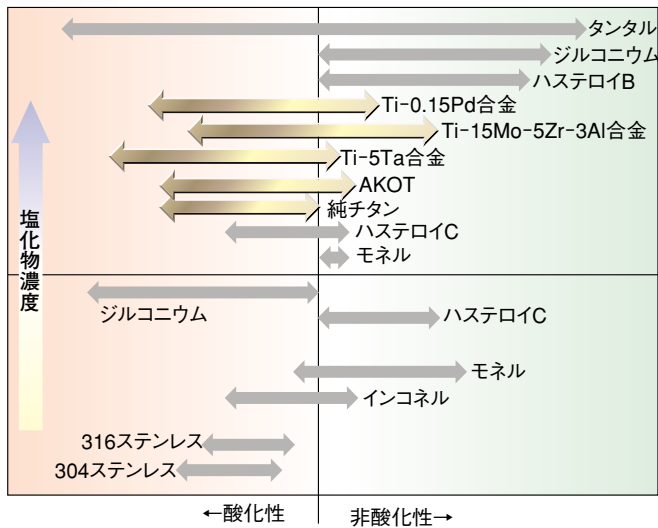


図7.チタンの耐食領域 (矢印の領域で耐食性を有する)

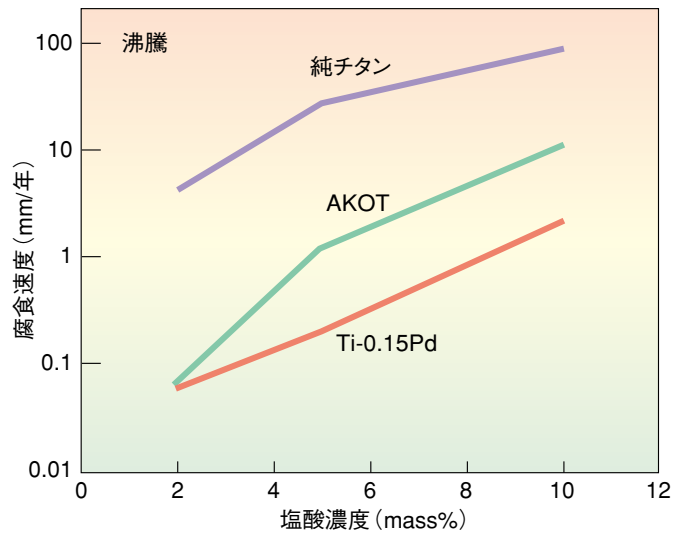


図8.塩酸中における各種チタンの耐食性

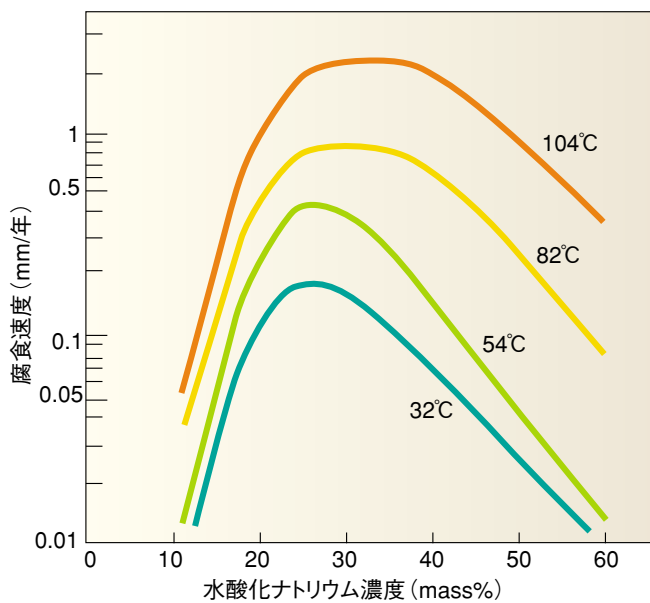


図9.脱気水酸化ナトリウム水溶液中におけるチタンの腐食速度

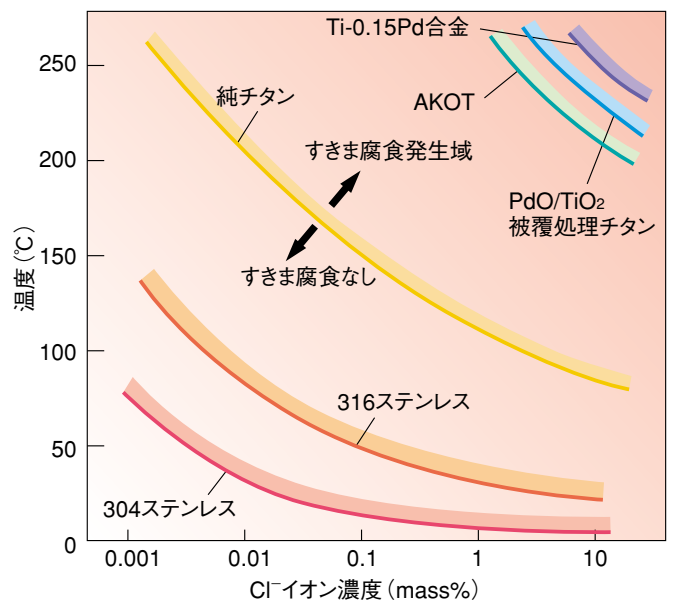


図10.塩化物溶液中における各種チタンおよびステンレスのすきま腐食発生限界

(1) 基本

■チタンは本来活性な金属ですが、多くの環境でチタン酸化物からなる不動態皮膜が生成、維持されるため、極めて優れた耐食性を発揮します。

■不動態皮膜が形成される酸化性の環境が得意分野です(図7)。

■ステンレスとは異なり、チタンの不動態皮膜は塩素イオンにも破壊され難いため、極めて優れた耐海水性を有します。

(2) 酸、アルカリに対する耐食性

■高温、高濃度の塩酸や硫酸などの非酸化性の酸には腐食されるので注意が必要です。このような場合にはTi-0.15Pd合金やTi-Ni-Pd-Ru-Cr合金(AKOT〔エイコット〕)等の耐食チタン合金

の使用をお勧めします(図8)。

■硝酸やクロム酸のような酸化性の酸には優れた耐食性を示します。

■高温、高濃度条件のアルカリでは腐食が生じるので注意が必要です(図9)。

(3) 塩化物水溶液に対する耐食性

■各種塩化物溶液中ではステンレスや銅合金とは異なり、チタンは全面腐食はもとより、孔食や応力腐食割れも起こしません(表2)

■高温、高濃度の条件ではすきま腐食の懸念があります。この場合Ti-0.15Pd合金やAKOT等の耐食チタン合金の使用をお勧めします(図10)。

表2.各種熱交換器用材料の耐食性相対比較

材料	海水種類	耐食性ランク				
		全面腐食	孔食	隙間腐食	応力腐食割れ	潰食
チタン	清浄	1	1	1	1	2
	汚染	1	1	1	1	2
Al黄銅	清浄	2	2	2	1	3
	汚染	2	4	4	4	3
70/30 Cu-Ni	清浄	1	2	2	1	3
	汚染	2	4	4	4	3
ステンレス	清浄	1	1	2	1	2
	汚染	1	2	3	2	2

耐食性ランク:1=優、2=良、3=普通、4=劣

表3.チタンが応力腐食割れを起こす環境

環境	詳細環境	チタン・チタン合金
非水溶液	メタノール+微量酸	純チタン
	赤色 N ₂ O ₄	Ti-6Al-4V
水溶液	塩水	高強度チタン合金
	高温高圧臭化物溶液	純チタン
高温塩化物	溶融ハロゲン塩	高強度チタン合金
液体金属	Hg,溶融Cd	高強度チタン合金

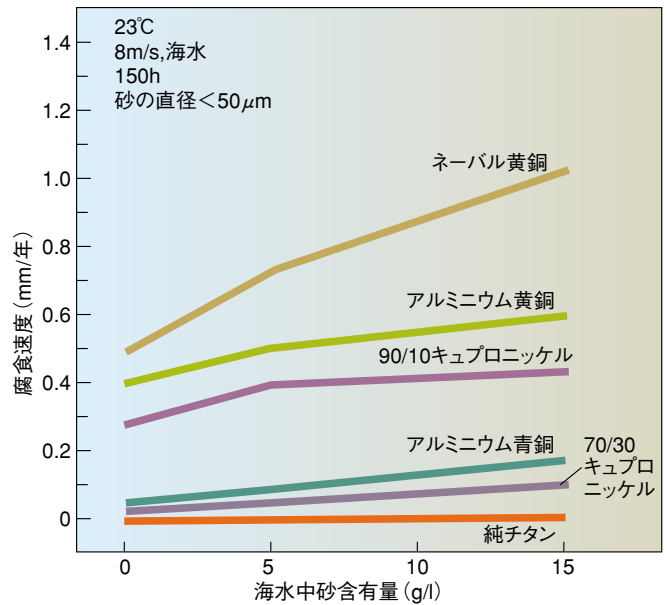


図11.流動海水中における純チタンと銅合金の耐サンドエロージョン性

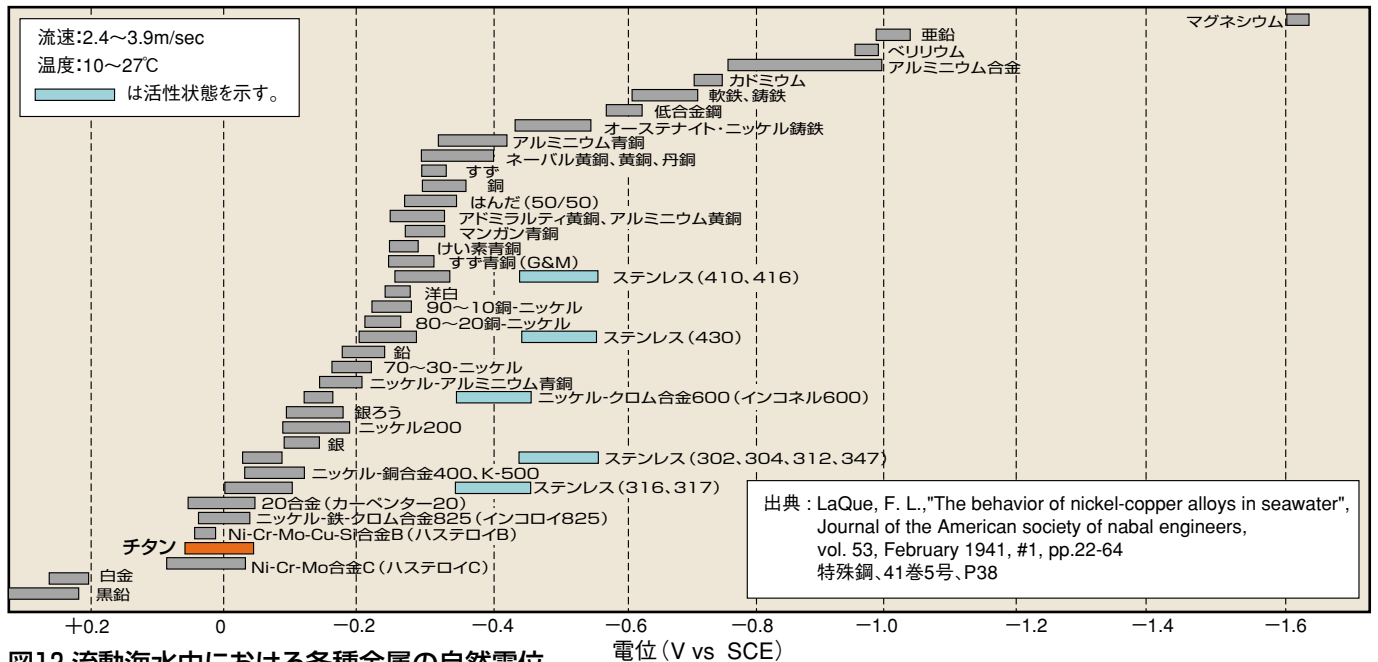


図12.流動海水中における各種金属の自然電位

(4) 応力腐食割れ

■チタンの応力腐食割れは、限られた特殊な環境でのみ発生します(表3)。

(5) 耐エロージョン性

■耐エロージョン性は銅合金に比較して格段に優れています(図11)。

(6) ガルバニック腐食

■チタンは実用金属材料の電位序列の中では貴な電位を有します(図12)。したがって、銅合金やアルミニウムのような卑な金属とチタンが電気伝導性のある溶液中で接触すると、卑な金属側の腐食が促進される場合があります(ガルバニック腐食)。

■SUS304やSUS316といったオーステナイト系ステンレスとチタンの常温での接触では、電位差が小さいため一般にガルバニック腐食の問題はありません。なお、ガルバニック腐食に対しては種々の対応法がありますので、詳しくはご相談下さい。

(7) ガスとの反応性

■酸素、水素、窒素ガスとの親和力が大きいため、温度や圧力等の使用条件によっては注意が必要です。
■水分を含む塩素ガスには耐食性を有しますが、乾燥塩素ガスとは激しく反応するので注意が必要です。

(8) その他

■一般にチタンの耐食性は溶接、加工および熱処理などの材料履歴により変化しません。

表4.各種腐食環境におけるチタンと他材料の耐食性比較

区分	腐食媒質	濃度 (mass%)	温度 (°C)	耐食性				
				純チタン	Ti-0.15Pd	純ジルコニウム	304ステンレス	ハステロイ C
無機酸	塩酸 (HCl)	1	25	○	○	○	○	○
			沸騰	×	○	○	×	△
		10	25	○	○	○	×	△
			沸騰	×	△	○	×	×
	硫酸 (H ₂ SO ₄)	1	25	○	○	○	○	○
			沸騰	×	○	○	×	○
		10	25	○	○	○	○	○
			沸騰	×	×	○	×	○
	硝酸 (HNO ₃)	10	25	○	○	○	○	○
			沸騰	○	○	○	○	○
		65	25	○	○	○	○	○
			沸騰	○	○	○	○	×
有機酸	酢酸 (CH ₃ COOH)	10	沸騰	○	○	○	○	○
		60	沸騰	○	○	○	○	○
	ギ酸 (HCOOH)	10	25	○	○	○	△	○
		30	沸騰	×	○	○	×	○
	シュウ酸 ((COOH) ₂)	10	25	○	○	○	○	○
		25	60	×	データ無し	○	△	○
	乳酸 (CH ₃ CH(OH)COOH)	10	沸騰	○	○	○	○	○
		85	沸騰	○	○	○	×	○
アルカリ	苛性ソーダ (NaOH)	10	100	○	○	○	○	○
		40	沸騰	×	×	○	○	○
	炭酸カリウム (K ₂ CO ₃)	5	沸騰	○	○	○	○	○
20		沸騰	○	○	○	○	○	
無機塩化物	塩化ナトリウム (NaCl)	25	25	○	○	○	○*	○
			沸騰	○*	○	○	○*	○*
	塩化アンモニウム (NH ₄ Cl)	40	25	○	○	○	○*	○
			沸騰	○*	○	○	△*	○*
	塩化亜鉛 (ZnCl ₂)	20	沸騰	○*	○	○	×	×
			50	沸騰	○*	○	○	×
	塩化マグネシウム (MgCl ₂)	42	25	○	○	○	○*	○
			沸騰	○*	○	○	○*	○*
	塩化第二鉄 (FeCl ₃)	30	25	○	○	×	×	△
			沸騰	○*	○	×	×	×
無機塩類	硫酸ナトリウム (Na ₂ SO ₄)	20	25	○	○	○	○	○
			沸騰	○	○	○	○	○
	硫化ナトリウム (Na ₂ S)	10	25	○	○	○	○	○
			沸騰	○	○	○	○	○
	次亜塩素酸ナトリウム (NaOCl)	5	25	○	○	○	△	△
			15	25	○	○	○	△
	炭酸ナトリウム (Na ₂ CO ₃)	30	25	○	○	○	○	○
			沸騰	○	○	○	○	○
有機化合物	メチルアルコール (CH ₃ OH)	95	25	○	○	○	○	○
	四塩化炭素 (CCl ₄)	100	沸騰	○	○	○	○	○
	フェノール (C ₆ H ₅ OH)	飽和	25	○	○	○	○	○
	ホルムアルデヒド (HCHO)	37	沸騰	○	○	○	○	○
ガス	塩素 (Cl ₂)	—	乾燥	25	×	×	○	○
			温潤	25	○*	○	×	×
	硫化水素 (H ₂ S)	—	乾燥	25	○	○	○	△
			温潤	25	○	○	○	○
	アンモニア (NH ₃)	100	40	○	○	○	○	○
			100	○	○	○	○	○
その他	海	—	25	○	○	○	○*	○
			100	○*	○	○	○*	○*
	ナフサ	—	80	○	○	○	○*	○
			180	○	○	○	○*	○

(耐食性表示) ○ : 0.125mm/年以下 ○ : 0.125~0.5mm/年 ※: 孔食、すきま腐食などの局部腐食を起こす場合がある。
 △ : 0.5~1.25mm/年 × : 1.25mm/年以上



機械加工

表5.チタンを切削加工する際の問題点とその対策

問題	原因	対策
①焼き付きが起こり、工具の摩耗が大きくなる	<ul style="list-style-type: none"> 熱伝導率が小さい上に、熱容量が小さいため、切削熱がこもりやすい。 チタン自身が活性故、工具と反応しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 切削速度は遅く(例えば鋼の1/3以下)、送りはやや粗くし、発熱を抑える。 切削油剤を大量に使用し冷却する。(低速重切削時には不水溶性油剤が、高速切削時には水溶性のものがよく使用される) 工具の交換を早めに行う セラミック、TiC工具はかえって寿命が短くなる。一般には超硬(処理量が多く、機械に十分な剛性とパワーがある場合)、ハイス(少量の切削で機械のパワーが小さい場合)がよく使用される。
②びびりが生じる(鋼の約10倍振動が生じる)	<ul style="list-style-type: none"> 切粉が鋸歯状になり切削力が変動する(切削熱がせん断面に集中し、局部的に変形が生じることに起因する) 	<ul style="list-style-type: none"> 上記対策により熱の発生を抑えるとともに、冷却を十分に行う。 剛性、馬力に余裕があり、切削速度の調節範囲が広い機械を使用する。
③切削切粉が燃える	<ul style="list-style-type: none"> 活性な金属故、酸素と急激に反応する(有形品が燃えることはまず無いが、切粉や研磨粉は溶接火花やグラインダー火花または強い衝撃で発火することがある) 	<ul style="list-style-type: none"> 切粉が堆積しないよう定期的に清掃する。 消火剤として乾燥砂、乾燥食塩、黒鉛粉、金属消火器を使う(水はかけない)

表6.チタンの機械加工に推奨される工具材料

種類	JIS表示	
超硬	K種	K01, K05, K10*, K20*, K30, K40
	M種	M10, M20, M30*, M40*
ハイス	V系	SKH10*, SKH57, SKH54
	Mo系	SKH7, SKH9, SKH52, SKH53, SKH55, SKH56*
	粉末ハイス	KHA*
ダイヤモンド	人工, 天然	

※よく使用される品種

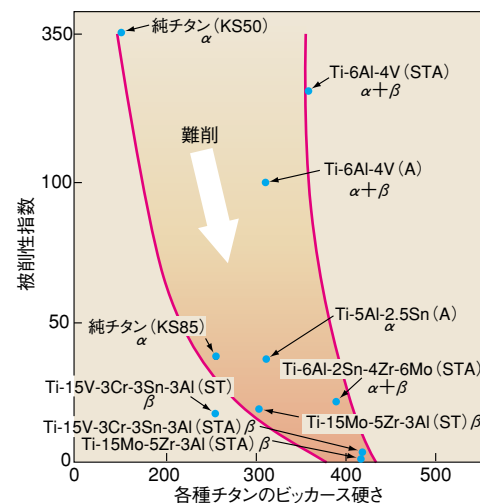


図13.チタンの硬さと被削性指数

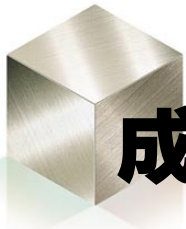
※被削性指数
Ti-6Al-4V焼鈍材をK10超硬バイトで切削し、最大逃げ面摩耗が0.2mmに達したときの切削指数を100とした

(1) 切削

チタンの切削性はステンレスに類似し、鋼に比べると若干劣ります。ただし、より緩やかな条件を適用することで、旋削、フライス加工、穴あけ、ねじ切り等も問題無くできます。材質による切削性の違いもあり、純チタンや α チタン合金が最も切削性に優れ、 β チタン合金が最も劣ります。 α - β 合金は前2者の中間的位置付けです(図13)。チタンを切削加工する際に主に生じる問題とその対策を表5に示します。また、表6にチタンに推奨される工具材料を示します。

(2) シャー切断

チタンはかえりが出やすいため上刃と下刃のクリアランスを小さ目にするのがポイントです。目安は板厚の5%です(ステンレスは10%)。せん断抵抗は引張強さの約80%です。切断しようとするチタンと同等の引張強さを持つ材料が切断できる切断機であればチタンも切断可能と判断できます。シャー切断以外の方法も可能ですのでご相談ください。



成形加工

純チタンは室温で曲げ加工やプレス加工が可能のため、成形加工品の素材として一般的に用いられています。一方、チタン合金は α 、 α - β および β チタン合金に大別され、成形加工性は合金の種類により異なります。 α および α - β チタン合金は室温での成形性が十分ではなく、またスプリングバックが大きいため、温間や熱間で成形加工が行われます(図14)。成形法としてはステンレスと同様、曲げ、深絞り、張出し等のプレス成形やスピニング加工などが適用できます。 β チタン合金は溶体化ままの状態では室温での成形加工が可能です。 β チタン合金は加工後に時効処理を行うことで1300~1500MPa程度の強度が得られます。

以下に曲げ成形とプレス成形におけるポイントを示します。

材 料		成形温度(°C)				
		0	200	400	600	800
純チタン	KS50, KS70	■		■		
α 合金	Ti-5Al-2.5Sn	■		■		
α 合金	Ti-8Al-1Mo-1V	■			■	
α - β 合金	Ti-6Al-4V	■		■		
β 合金	Ti-15Mo-5Zr-3Al	■				

■ : 中加工 ■ : 強加工

図14.純チタンおよびチタン合金の成形温度

(1) 曲げ成形

■純チタンおよびチタン合金のいずれも他の金属に比べるとスプリングバックが大きくなる傾向があります。純チタンの中でも軟質材のKS40SおよびKS40であればSUS304と同等レベルですが、高強度材になるほどスプリングバックは大きくなります。スプリングバック軽減法として、スプリングバック量を見込んだ曲げ量を与える方法や、板厚に合ったダイセットを使用し、完全に密着するまで圧下することが有効です。

■純チタンの場合、室温曲げはKS40S~KS70までが可能です。KS40SおよびKS40であれば板厚にもよりますが、ほとんどの曲げに対応できます。高強度材になるほど、曲げ半径を大きくする必要があります。温間曲げはKS70を超える高強度材、例えばKS85やKS100等で効果があります。KS40やKS50ではかえって曲げ性が悪化するケースもあるので注意が必要です。

■純チタンの場合、一般的にはL曲げよりT曲げの方が曲げ性に優れます(図15)。したがって板取りには注意が必要です。 β チタン合金は曲げの面内異方向性が小さく、一般的には板取り方向を考慮する必要はありません。

■曲げ面の表面粗さが大きい場合には曲げ性が劣化するケースがあります。バフ研磨により平滑にする方法が有効ですが、この場合曲げ軸に対して直角にバフ掛けすることが重要です。さらに酸洗でバフ目を除去することも一層効果的です。

■表7~10に純チタンとチタン合金の曲げ性の例を示します。

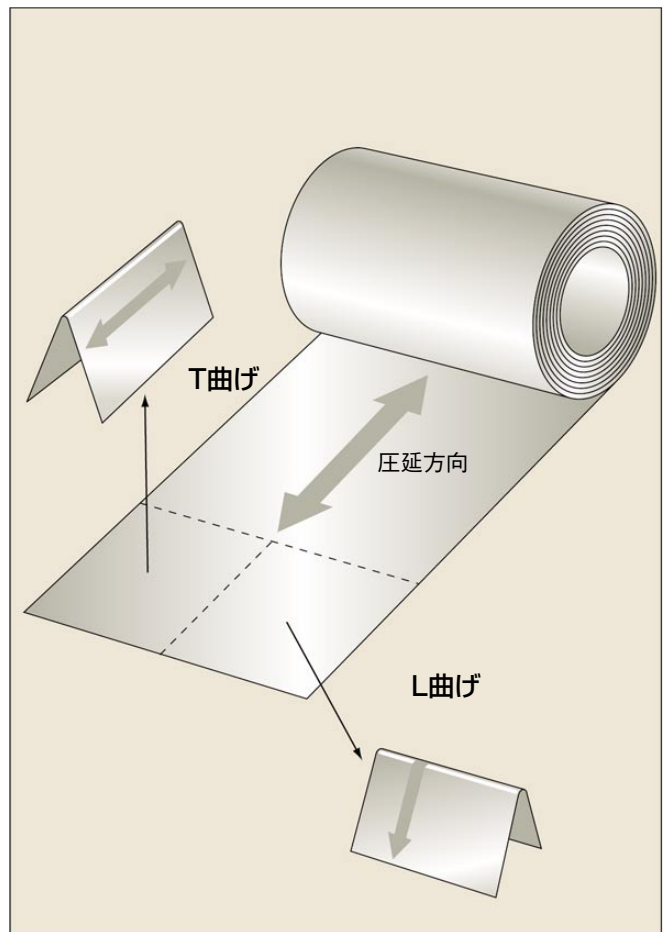


図15.曲げ方向の定義

表7.純チタン板の曲げ性1 (4^t, U字曲げ)

材質	曲げ方向	曲げ半径 (R/t)			
		2.5	2.0	1.0	密着
KS40	T曲げ	OK	OK	OK	NG
KS50		OK	OK	OK	NG
KS60		OK	OK	NG	NG
KS70		OK	NG	NG	NG

表8.純チタン板の曲げ性2
(0.5^t, ナイフエッジおよび密着曲げ)

種類	曲げ方向	90° ナイフエッジ	135° ナイフエッジ	密着
KS40	T	OK	OK	OK
	L	OK	OK	OK
KS50	T	OK	OK	NG
	L	OK	OK	NG

表9.純チタン板の曲げ性の内面異方性

材質	板厚 mm	曲げ性		曲げ方法
		T曲げ	L曲げ	
KS40	4	OK	NG	135°ナイフエッジ→密着
KS50	4	OK	NG	135°ナイフエッジ
KS60	3	OK	NG	90°ナイフエッジ
KS70	4	OK	NG	R=2t, U字曲げ

表10.Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al合金板の曲げ性

板厚 mm	曲げ方向	105° R=2t	90° ナイフエッジ	135° ナイフエッジ	密着
0.5	T	OK	OK	OK	NG
	L	OK	OK	OK	NG
1.0	T	OK	OK	NG	NG
	L	OK	OK	OK	NG

出典:表7～10のいずれも「チタンの加工技術」、(社)日本チタン協会編、日刊工業新聞社刊、p77, p78, p81

(2) プレス成形

■プレス成形は室温で実施される場合が多く、主に純チタンが用いられます。βチタン合金は成形性の面からは純チタンのKS50～KS70に相当しますが、スプリングバックが大きく、形状や寸法精度が出にくいので注意が必要です。

■プレス成形の変形様式には張出しと深絞りがありますが、純チタンは張出し性よりも深絞り性に優れます。したがって、深絞りの要素を取り入れたプレス方法、金型設計が重要となります。

■張出し要素の多い成形には、純チタンの中でも最も軟質のKS40Sが適しています。一方、深絞り要素の多い成形にはKS40およびKS50の適用も可能です。表11に各種素材の張出し成形性を比較した結果を示します。

■チタンは金型と焼き付きやすいので、プレス条件に適した潤滑が必要となります。室温成形ではグリース+油、ろう系潤滑材+片状黒鉛などが用いられます。また、ポリエチレンシートをブランクに貼付する方法も有効です。

表11.純チタン、チタン合金および鋼系材料の張出し成形性

材質	板厚 mm	エリクセン値 mm	バルジ高さ mm
純チタン	KS40S	12.1	36.2
	KS40	11.2	35.4
	KS50	10.3	33.7
	KS60	7.5	26.3
	KS70	6.9	23.1
Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al		7.9	27.6
SUS304		13.0	40.5
SUS430	0.6	8.8	29.7
		10.1	37.2
キルド鋼			

出典:「チタンの加工技術」
(社)日本チタン協会編、日刊工業新聞社刊、p84
神戸製鋼社内データ

接合

チタンの接合方法には他の材料と同様に、溶接、ろう付け、圧接、拡散接合およびボルトナットで締結するような機械接合があります(図16)。

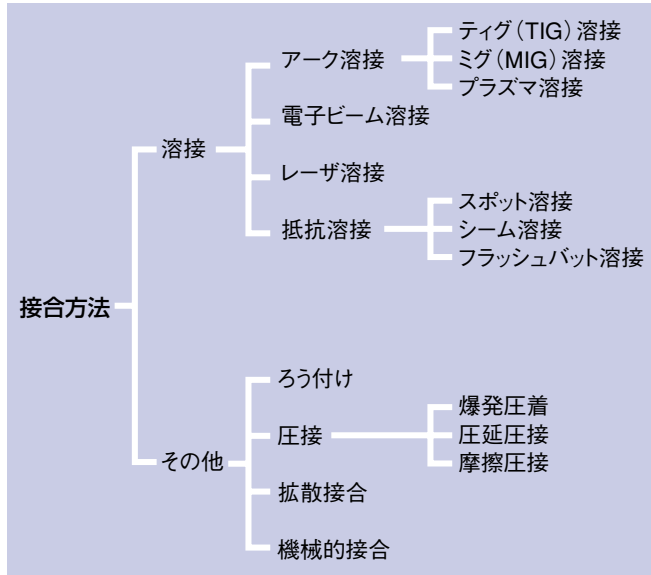


図16.チタンの接合方法

表12.チタン厚板溶接継手の機械的性質

材質	板厚 mm	母材		溶接部	
		引張強さ, MPa	Hv硬さ (10kg)	引張強さ, MPa	Hv硬さ (10kg)
純チタン (JIS 2種)	9	375	145	419	155
純チタン (JIS 3種)	20	530	185	562	218
Ti-0.15Pd (JIS 12種)	5	401	153	405	178

溶接方法:TIG溶接
溶接棒:母材と同材質(φ2mm)

(1) 溶接

■チタンは溶接性に優れ、また溶接部の機械的性質や耐食性の変化の少ない優れた金属です(表12、図17)。ただし、チタンは高温で酸素や窒素等のガスとの親和力が大きく、これらと反応すると、硬化や脆化を起こし溶接部の延性が低下するとともに、ブローホールの発生原因になる場合があります。したがって、溶接は不活性ガスまたは真空雰囲気を実施する必要があります。また、溶接材料や溶接棒ならびに作業環境の十分な清掃が必要です。

■チタンの中でも純チタンとαチタン合金が最も溶接性に優れます。

■図16に示す溶接法の中でもTIG溶接が最も多く用いられています。TIG溶接では図18のようなガスシールド治具付きの溶接トーチを用い、溶接部をアルゴンガス雰囲気することで酸素等との反応を防止します。

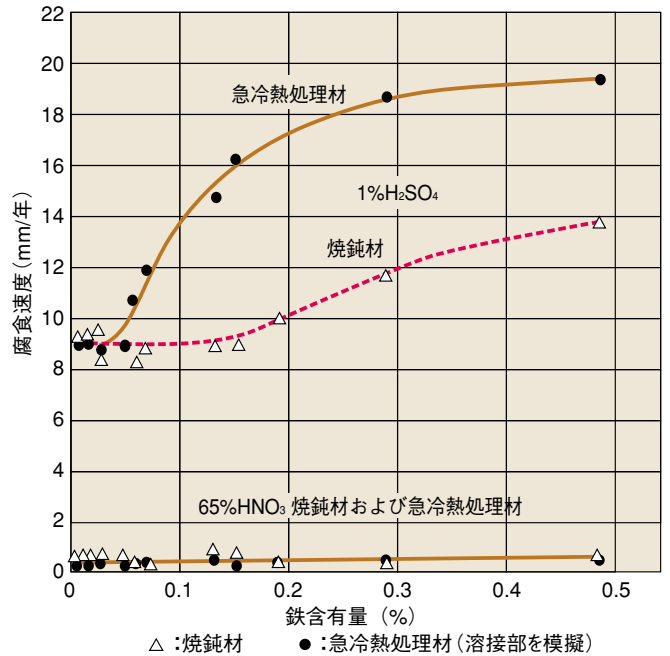


図17.純チタンの腐食速度に及ぼす溶接の影響

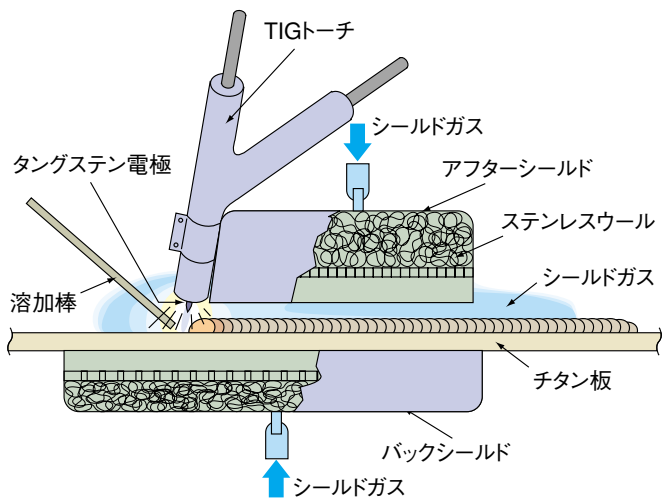


図18.チタン用TIG溶接トーチとシールド治具

■溶接部がガスと反応した場合、図19のような変色が生じるため、外観で溶接の良否がある程度判定できます。

■チタンと鋼系材料等との溶接はこれまで難しいとされてきましたが、当社開発の異種金属溶接技術により、鋼板への直接ライニング等が可能となっています(P6の岸壁用鋼管矢板をご参照ください)。

(2) ろう付け

■溶接ができない異種金属との接合や、構造が複雑で溶接が難しい場合にはろう付けが適用されます。チタンのろう付けは真空または不活性ガス雰囲気中で行われます。表13に示すろう材が推奨されます。



完全なアルゴンガスシールド中で溶接

不完全なアルゴンガスシールド中で溶接

図19.チタンのTIG溶接部の外観

熱処理

■純チタンおよびチタン合金では、熱間および冷間加工後の内部ひずみの除去のため、応力除去焼鈍が行われます。また、応力除去に加え、加工組織を回復、再結晶させる場合には焼鈍が行われます。焼鈍により、組織の安定化、製品寸法の安定化、切削性の向上ならびに機械的性質の向上等の効果が得られます。

■チタン合金では高強度化、高靱性化、疲労特性の改善などを目的に溶体化時効(STA)、二重溶体化時効(STSTA)などの熱処理が行われます。熱処理性はβ相の多い合金ほど良くなります。βチタン合金では溶体化後低温側および高温側の2段時効をすることにより、1600MPa程度の引張強さを得ることも可能です。

表14.チタンの代表的熱処理条件

材質	熱処理の種類			
	応力除去	焼鈍	溶体化	時効
純チタン	480-595°C 15-240min	650-815°C 15-120min	—	—
α-β合金	Ti-3Al-2.5V	370-595°C 15-240min	650-790°C 30-120min	—
	Ti-6Al-4V	480-650°C 60-240min	705-870°C 15-60min	900-970°C 2-90min
β合金	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	790-895°C 30-60min	760-815°C 3-30min	480-690°C 2-8hr
			760-815°C 2-30min	480-675°C 2-24hr

出典:AMS-H-81200 製品形状:薄板、厚板

表13.代表的なろう材とろう付け温度

ろう材	ろう付け温度(°C)
Ag-3Li	800
Ag-7.5Cu-0.2Li	920
Ag-28Cu-0.2Li	830
Ag-20Cu-2Ni-0.2Li	920
Ag-20Cu-2Ni-0.4Li	920
Ag-9Ga-9Pd	900
Ag-27Cu-5Ti	840
Ti-15Cu-15Ni	930
Ti-20Zr-20Cu-20Ni	890
Ti-25Zr-50Cu	890

■チタンの熱処理には温度管理の点でファンによる攪拌機能をもった電気炉が好ましく(図20)、また燃焼炉を用いる場合には水素吸収を防止するため、空気比を大きくし雰囲気を弱酸化性にする、さらには製品をマッフルに入れ炎を直接当てない等の配慮が必要です。

■表14にチタンの代表的な熱処理条件を示します。



図20.チタン専用熱処理炉

表面処理

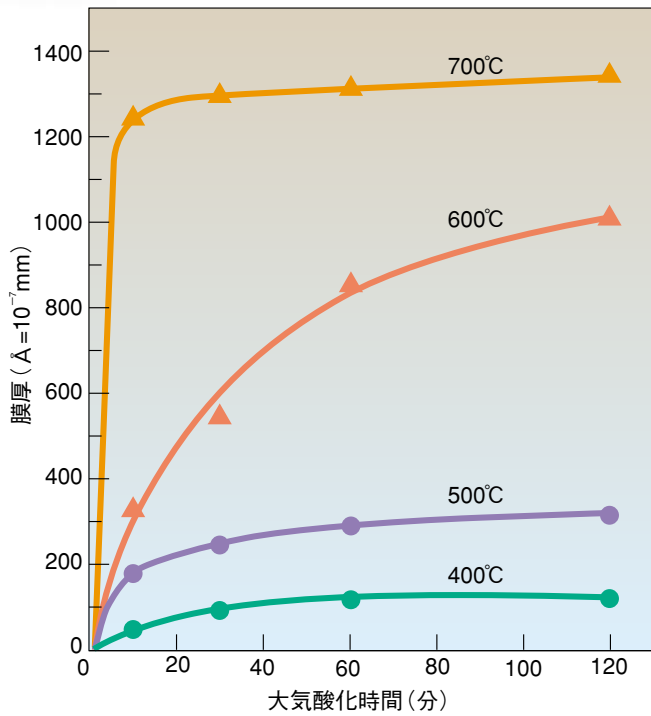


図21.大気酸化処理条件と酸化皮膜厚さの関係

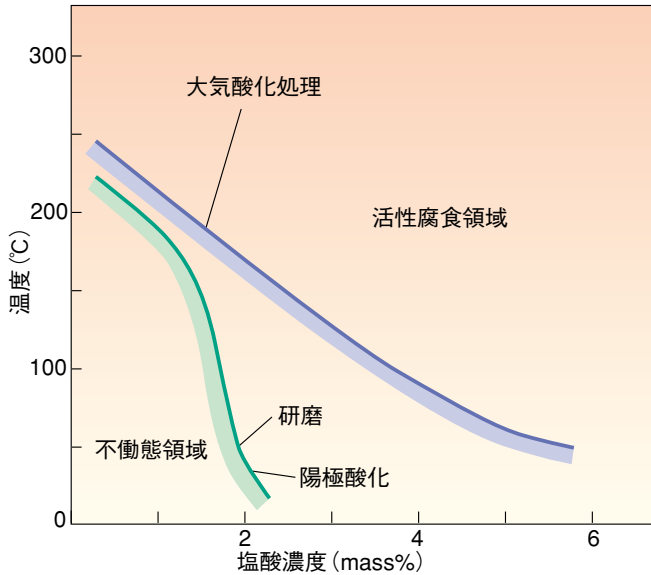
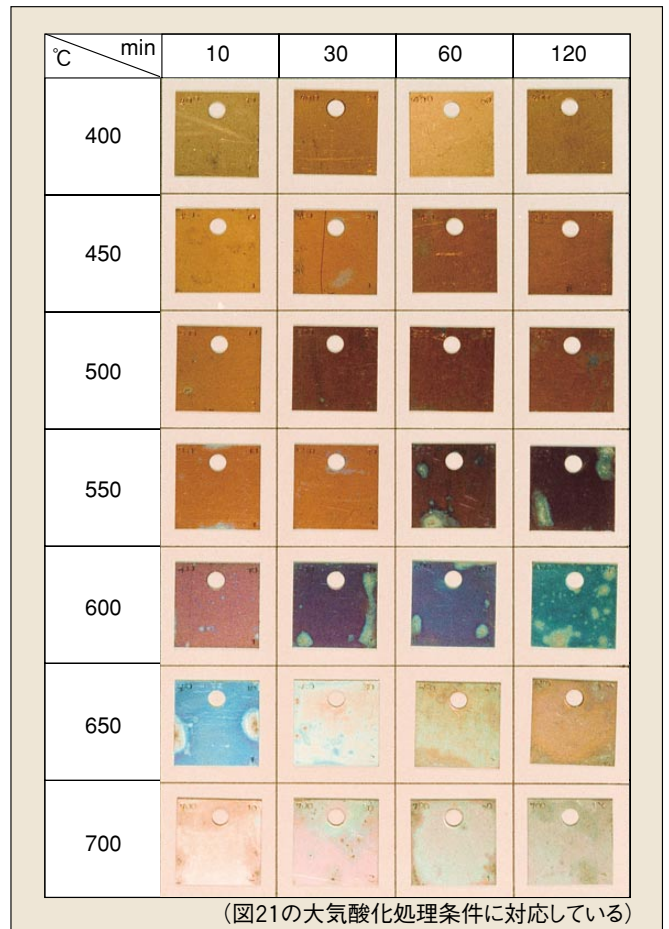


図23.塩酸水溶液中における各種表面処理チタンの活性態/不動態の境界



(図21の大気酸化処理条件に対応している)

図22.大気酸化処理後の外観

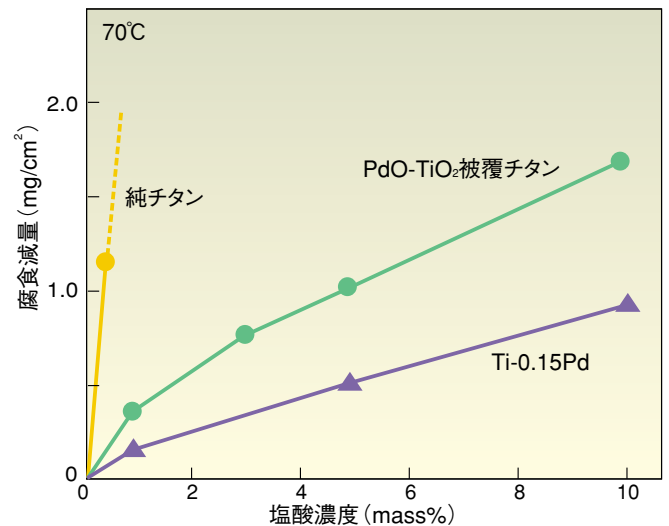


図24.塩酸中におけるPdO-TiO₂被覆チタン、純チタン、Ti-0.15Pd合金の耐食性

(1) 耐食性表面処理

■大気酸化処理

チタンの優れた耐食性は表面に存在する厚さ数十Å程度の薄いチタン酸化物皮膜の存在に由来します。したがって、大気酸化処理により積極的に酸化皮膜を付与することで耐食性を一層向上させることが可能です(図21~23)。また、大気酸化処理により水素吸収も大幅に抑制できます。

■貴金属被覆処理(溶接管のみ)

チタン表面にPdOとTiO₂の混合皮膜を被覆することで耐全面腐食性および耐すきま腐食性が向上します(図24)。