

板 sheet P1-10
丸棒 Round Bar P11-14
センタレス Centerless P15
アングル Angle P16-17
チャンネル Channel P18
フラットバー Flat Bar P19-22
六角棒 Hexagon Bar P23
溶接管 Welding Pipe P24-30
シームレス管 Seamless Pipe P31-38
チタンの紹介 P39-46
板 Sheet P47
丸棒 Round Bar P48
溶接管 Welding Pipe P49
参考資料 ① P51-55
参考資料 ② P56-57
参考資料 ③ P58-62
参考資料 ④ P63-65
参考資料 ⑤ P66
参考資料 ⑥ P67
参考資料 ⑦ P68
参考資料 ⑧ P69-71

チタンの加工性

チタンの機械加工

チタンは一般的に加工し難い材料と考えられていますが、それはチタン加工の経験の少なさ、或いはチタン専用工具がまだ開発されていない等が一つの問題で、チタンもその特徴を把握すれば、鉄、ステンレス鋼等の他金属と同様な加工は容易に出来ます。

チタンの切断

- (1) チタンの切断は、シャー切断及びプラズマ切断が一般的だが、最近では設備改良が進んだことから、レーザー切断、或いはウォータージェット切断等の比率も増加している。
- (2) 切断設備は、鉄、或いはステンレス鋼と同様な設備を使用し、チタン特有のものは無い。
- (3) チタンの切断に当たっては、低ヤング率、低熱伝導率、熱的活性といったチタンの特性に注意が必要です。
- (4) 熱的切断では、切断面の酸化硬化層の除去が必要です。

表 3：チタンの切断方法

分類	切断方法	チタンの適用	板厚範囲	チタン切断時の留意点
機械的切断	鉄切断	◎	0.5 mm≦	低ヤング率⇒バネ性の強さに注意
	鋸切断	◎	1 ～ 100 mm	熱伝導率が小さいため蓄熱しやすく鋸刃磨耗が大きい ⇒切断速度のコントロール
	シャー切断	◎	0.1 ～ 60 mm	クリアランス管理が重要（板厚× 5% 程度）
熱的切断	ガス切断	○	2 ～ 250 mm	切断部の熱影響⇒材質変化
	プラズマ切断	◎	0.1 ～ 90 mm	切断部の酸化硬化層
	放電加工 （ワイヤーカット）	◎	100 mm≧	変形、かえり無く切断面良好⇒切断コスト
	レーザー切断	◎	15 mm≧	不活性ガスによるシールド必要 ⇒切断面の熱影響少ない
その他	ウォータージェット切断	◎	0.1 – 200 mm	切断面良好⇒切断コスト

チタンの機械加工

- (1) チタンの加工で加工設備及び基本的な作業方法は、鉄、ステンレス鋼とほぼ同様だが、作業条件が異なる。
- (2) 加工に当たっては、下記のチタン特有の特性に留意する事が必要である。
 - ① 熱伝導率が小さい（加工時に蓄熱し易い）
 - ② ヤング率が低い（材料のたわみによる加工精度のバラツキが出易い）
 - ③ 耐摩耗性が他金属に比較して劣る（加工時の焼き付きを起こし易い）
 - ④ 化学的に非常に活性で酸素や窒素と反応し易い（酸化或いは窒化による硬化層が生成し易い）
- (3) チタン加工に当たっても工具材料、潤滑油等の選定はステンレス鋼と同様に加工法により異なる。
- (4) 冷却油は摩擦係数よりも冷却性能を重視する。（比較的粘度の低いものが一般的には使用されている）
- (5) チタンでは、切り粉の火災に注意。消化剤は乾燥した砂、塩類を使う。水や炭酸ガスは火災を大きくするので厳禁。

チタン加工時の注意事項

- (1)

切削速度：遅く

⇒刃先温度上昇
- (2)

送り速度：やや粗く

⇒刃先温度上昇
- (3)

切 削 材：冷却メイン

⇒刃先温度上昇
- (4)

工具交換：早めに

⇒チップ欠損し易い
- (5)

寸法管理：十分な配慮

⇒変形し易い

表 4：チタンの機械加工方法と留意点

分類	切断方法	加工上の留意点
切削加工	旋削	・ 使用工具は、ハイス、超硬が一般的に使用される ・ 切断油には、粘度の低い物を多量、高圧で使用 ・ ビビリ防止のための加工速度、送り量、切り込み量は、他金属より低く設定する
	エンドミル	
	フライス	
	ドリル、タップ	
研削加工	グラインダー	・ 発熱、変形に注意（砥石材料、研削条件、研削油剤の選定に留意 ・ 被加工材の取り付けに注意（チタンは電磁チャック不可）
	ベルトサンダー	
特殊加工	ケミカルミーリング	・ 弗産＋硝酸を使用⇒発熱反応のため冷却に注意 ・ ワイヤー放電加工が一般的で小部品加工に適する
	放電加工	

チタンの塑性加工

チタンの塑性加工には様々な方法がありますが、どの方法を取るにあってもチタンの材質特性、表面硬度、ヤング率、異方性、r 値、n 値及び化学的に活性である等の特性を十分に把握した上で、加工することが重要です。（チタンの塑性加工方法と留意点については表 5 を参照）

チタンの塑性加工上での全体的な注意点

- (1)

チタンの塑性加工で加工設備、基本的な作業方法は、鉄やステンレス鋼とほぼ同等だが、加工条件が異なる。
- (2)

塑性加工に当たっても機械加工と同様にチタン特有の特性の把握が重要。

①

引張強さ等の機械的性質は、ほぼ普通鋼並

②

ヤング率が低くスプリングバック量が大きい（耐力 / ヤング率）

③

加工硬化指数（n 値）が他のどの金属より小さい⇒局部変形し易い

④

塑性異方性（r 値）が極めて大きい⇒深絞り性に優れる

⑤

化学的活性が強く他の金属との親和力が強い⇒成形時の工具との焼き付き

(3)

加工設備、工具（金型等）は、加工方法毎に上記特性に留意しながら選定する。

(4)

工具材料との焼き付き、或いは磨耗を軽減するためには、潤滑を適性に行う事が重要。
- チタン接合
- ・ チタンは溶接性に優れ、溶接部の特性変化がほとんどありません。
 - ・ チタンは熱力学的に非常に活性な金属である事から酸化し易いので、接合は一般的に酸素を遮断するように活性化ガス雰囲気中の TIG 溶接が使用されるのが一般的です。
 - ・ また、チタンは、異種金属との溶接では脆い金属間化合物を生成するために溶接出来ないなので、ろう付け、拡散接合、或いは機械的接合で行う必要があります。
- 43 —

板 sheet P1-10
丸棒 Round Bar P11-14
センタレス Centerless P15
アングル Angle P16-17
チャンネル Channel P18
フラットバー Flat Bar P19-22
六角棒 Hexagon Bar P23
溶接管 Welding Pipe P24-30
シームレス管 Seamless Pipe P31-38
チタンの紹介 P39-46
板 Sheet P47
丸棒 Round Bar P48
溶接管 Welding Pipe P49
参考資料 ① P51-55
参考資料 ② P56-57
参考資料 ③ P58-62
参考資料 ④ P63-65
参考資料 ⑤ P66
参考資料 ⑥ P67
参考資料 ⑦ P68
参考資料 ⑧ P69-71

表 5：チタンの塑性加工上での全体的な注意点		
分類	加工方法	加工上の留意点
プレス加工	単純曲げ加工	・チタンはスプリングバックが大きい ・他金属加工用の金型を使用しても曲げ R が大きくなる （但し、純チタン 1 種材では密着曲げも可能）
	深絞り加工	・チタンの深絞り性は高く、加工し易い （r 値大、CCV 値大、限界深絞り比大）
	張り出し成型加工	・チタンは張り出し成型性は低い （n 値小、2 種より 1 種と柔らかいほど張り出し性は良くなる）
ロール加工	ロールフォーミング	・鉄、ステンレス鋼とほぼ同等で加工し易い ・チタンは表面硬度が低いので成型時疵防止対策が必要
	ロールベンディング	・管が潰れないような条件設定 （カラ、芯入り、砂入り）
へら絞り	へら絞り	・チタンは加工自由度大で、へら絞りし易い （但し、高技能レベル要）
転造	転造	・転造（ネジ部の成型等）⇒金型設計と潤滑に留意
	超塑性加工 (SPF*)	・SPF は、チタン合金の塑性加工で使用 ・変形量＝大、変形速度＝遅
伸線加工	ダイス伸線	・チタンは焼き付きし易いため潤滑に注意が必要 （伸線速度小、1 段当り減面率小、穴ダイス設計、潤滑材等）
	ローラーダイス伸線	・鉄、ステンレス鋼とほぼ同等で加工し易い （寸法精度、真円度が出にくい）
	クロス圧延	・クロス圧延＋ RD 伸線の組み合わせによる新方式 ・チタン加工は容易（寸法精度、真円度に注意）
	極細線特殊製法	・チューブ圧延方式など目的に合わせて各種方法あり ・開発途上加工方法（極細管製造も可能）
圧延	熱間圧延	・チタンは酸化し易い⇒ α ケースに注意 ・酸化防止と圧延中の温度コントロールに留意 （温度低下により結晶構造が変化し割れ等が発生し易くなる）
	冷間圧延	・一般にはステンレス鋼と同等の設備を使用する ・圧延反力が大、潤滑に注意

(*)SPF=Super Plastic Forming

チタンの接合方法

- (1) チタンの接合に当たっては、接合作業に影響する特性を把握しておく事が重要。
- ① 他金属に比較し、高融点（1,668℃）
- ② チタンは活性金属で、酸素、窒素、水素との親和力が強い
- ③ 熱伝導率が小さいため、入熱調整、放熱の工夫が必要
- ④ 線形膨張係数が小さい
- ⑤ 比熱は、鉄、ステンレス鋼とほぼ同等
- (2) チタン接合に使用される設備、機器類は、鉄、ステンレス鋼と同じものが使用されるが、シールド治具、溶接棒等は、チタン特有のものが必要である。
- (3) チタン接合については、活性金属である事に注意して、不活性ガス雰囲気で大気を遮断する事が最重要。

チタンの接合方法

- ・不活性ガスアーク溶接 → TIG 溶接、MIG 溶接、プラズマ溶接、不活性ガス溶接
- ・電子ビーム溶接
- ・抵抗溶接 → スポット溶接、シーム溶接、フラッシュバット溶接
- ・爆発圧接 ・ろう付け ・拡散接合 ・摩擦溶接 ・圧延圧着 ・機械的接合

表6：チタンの塑性加工上での全体的な注意点

接合方法	具体例		チタン加工上の留意点
溶 接	アーク溶接	ティグ溶接 (TIG)	・チタン溶接の主流 ・コンタミネーション防止のため不活性ガスシールドが最も重要
		ミグ溶接 (MIG)	・チタンでは開発中 ・アークの安定、スパッター、ワイヤーの安定供給等に留意
		プラズマ溶接	・米国で多く使用されているが日本では少ない方式 ・アークが安定
		電子ビーム溶接 (EB)	・航空機向けで、定常的に使用される方式 ・真空中の溶接で溶接品質が良好 ・コンタミネーションが少なく、ペネトレーションが深い
		レーザ溶接	・気体 Co2 及び固体 YAG レーザー ・チタンに使用され始めたのは最近 ・今後拡大の可能性大きい
	抵抗溶接	シーム溶接	・条件により大気中でシールド無しに溶接可能
		スポット溶接	・今後の拡大に期待
	ろう付け	ろう付け	・大気中、真空中、不活性ガス雰囲気で行われる
		ハンダ付け	・眼鏡フレームはろう付けが多用される
	固層接合	圧 接	爆発圧接
圧延圧接			・熱間圧延で異種金属 (Ti + 鉄) の接合を行う
摩擦圧接			・異種金属の接合が可能だが未だ普及していない
拡散接合		ディフュージョンボンデング	・試作レベルで成功⇒作業条件設定等で未完成
摩擦拡散接合	Friction Stir Welding		・新開発技術でチタンはテスト中
機械的接合	曲 げ	はぜ折り	・屋根、壁等建材加工で多用される ・1 種材のように最適材質選定が重要
		ファスナー接合	・チタンファスナーはメニューが充実してきている ・異種金属の電食に留意
		ボルト・ナット接合	
接 着		リベット接合	
		接着・粘着	・日本では実験段階 ・米国では航空機パネルに使用⇒今後拡大