

課題情報シート

テーマ名 :	チタンを使った自転車フレーム製作				
担当指導員名 :	横山 真樹	実施年度 :	23 年度		
施設名 :	北海道職業能力開発大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	生産技術科		
課題の区分 :	総合制作実習	学生数 :	2	時間 :	12 単位 (216h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

最近ではエコブームから自転車の通勤での利用やレジャーでの利用はもちろん健康面でもサイクリングが注目されています。そこで身近な乗り物としての自転車を製作することをテーマにしました。また、チタン材を採用することにより軽量化に特化した自転車フレームを最終目標に設定しました。チタン材は食品関係、機械プラント分野など工業材料として使用する機会も多くなってきており、その加工技術を習得することにより総合的な応用力を習得することができます。

【訓練（指導）のポイント】

今回の課題では最初に、機械加工・溶接技術の向上と学生に対し実習成果の成功体験を早期に体験させるためチタンに比べ、低コスト・入手し易さ・加工性が良い等の理由から炭素鋼(機械構造用鋼管)でフレームを試作することにしました。また、身近な乗り物である自転車を課題として採用したことにより「ものを作る過程」や「最後は自分の作ったものに乗れることを創造できること」など、楽しみながら訓練ができたことにより学生のやる気や興味を持続することができました。また、自転車のフレームに取り付けられる各パーツ類を正確に組み付けるためにフレーム製作専用の治具の設計も重要であることも指導しました。

自転車フレームは3次元構造であることから早期に3次元CADを用いた設計を行い、有限要素法による応力解析を利用した強度設計の基本についても訓練を行っています。

また、通常の実習では扱わないチタン材の機械加工や溶接技術を習得することにより、さまざまな問題点を解決していく訓練効果を引き出しています。例えば切削加工における問題点や、TIG溶接におけるバックシールドやアフターシールドの問題などがあげられます。

この問題に対しては自転車用の部品を製作する前に切削基本条件を試作品で検討し、溶接ではメインフレームで使用するパイプ溶接を目標にまずは薄板を用いて基本条件を学生本人が導き出せるように工夫して訓練を行いました。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 北海道職業能力開発大学校
住所 : 〒047-0292 北海道小樽市3丁目190番地
電話番号 : 0134-62-3553 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

チタンを使った自転車フレーム製作

～自転車用フレーム作成用治具とチタンフレームの設計・製作について～

生産技術科 山本 秀貴

1. はじめに

今年度は、2008 年度に試作された鉄鋼フレームの自転車の材料をチタンに変更し、自転車を製作した。自転車を制作するにあたって必要となった専用の治具は、2008 年度に製作したものを利用した。しかし、そのままだと不便な点があったため、数箇所の改良を行った。また、自転車フレームについては、試作品と基本構造は同じとし、チタンを利用した際のフレームの強度を検討した後に製作を行った。

2. 鉄鋼フレームとチタンフレームの力の強度比較

表 1 は、フレームの強度を比較するためのチタン材と鉄鋼材の材料特性である。これらを図 1 の 3DCAD で設計したフレームに入力して、強度計算を行った。入力値については体重 100kg の人が乗ったと想定し、フレームの前端に 500N の荷重と後端に 250N の荷重を 2 か所にかけて、そのときのフレームにかかる最大応力と最大変位を求めて比較した。その結果を表 2 に示す。

表 1 チタン材と鉄鋼材の材料特性

	チタン	鉄鋼(SS400 相当)
ヤング率	$1.085 \times 10^{11} \text{N/M}^2$	$2 \times 10^{11} \text{N/M}^2$
ポアソン比	0.34	0.266
密度	4460kg/m^3	7860kg/m^3
熱膨張率	$0.95 \times 10^{-5} \text{Kdeg}$	$1.17 \times 10^{-5} \text{Kdeg}$
降伏強度	220MPa	250MPa

表 2 鋼フレームとチタンフレームの強度比較

	チタン	鉄鋼(SS400 相当)
最大応力	63.3418MPa	65.9662MPa
最大変位	1.3205mm	0.7296mm
重量	1.5kg	2.5kg

最大応力は、チタンフレームが 63MPa、鉄鋼フレームが 66MPa となっている。この結果からチタンフレームの安全率を求めると、降伏強度 220MPa に対し、最大応力 63MPa なので安全率は 3~4 の間となる。この値は、チタンの動荷重の安全率の目安と比較すると同程度の値となるため、動荷重がかかったことを推定しても安全側にあると考えられる。

最大変位はチタンフレームが 1.3mm で、鉄鋼フレームが 0.7mm となっており、チタンフレームのほうが約 2 倍大きい値となっている。これは、ヤング率の影響と考えられる。一般的に、ヤング率が低いと、弾性が高くなり材料が変形しやすい傾向があるが、弾性限度以下で塑性変形することなく設計できたと

考えられる。

以上のことから試作品の鉄鋼材からチタン材のフレームに変更しても問題は起こらないと考えた。



図 1 解析した自転車フレーム構造

3. 自転車フレーム作成用治具の改良について

3.1 心出し部

前回使用した心出し部の構造は、市販のレーザーポインターを使用しており、点でしか表示されないため、上下方向に動かさないといけなかった。さらに、レーザーの光が弱いので、周りを暗くしないと光がよく見えない。これらの点を改善するために株式会社 MAKINO 製のレーザー心出し器(モデル SK11)を新たに採用した。これは、縦と横の両方向にレーザーが照射され、縦方向に動かす必要もない。また、光も強いので、周りをあまり暗くする必要がないため、作業の効率化が望める機器である。

3.2 ガイド

レーザー心出し器を変更するに伴って、ガイドも変更することにした。ガイドは THK 株式会社製の LM ガイド(SRG20)を利用した。しかし、LM ブロック自体にはレーザー心出し器が上に取り付けられないので、SS400 の鋼板をワイヤー放電加工機により切断して台座を製作した。そして上記の、ガイドを変更したので、ガイドを乗せる台座も作る予定だったが、前回使用したものに穴あけとねじ切り加工を行って使用することにした。

3.3 溶接用治具

今回行った TIG 溶接のメリットは突合せ継手において安定した裏波ビードが得られ、パイプなどの外側からしか溶接できない場合に適している事と、融合不良やブローホールなどの溶接欠陥が生じにくく、各種溶接法の中で最も高品質な溶接結果が得られる。ブローホールとは、アーク雰囲気中で溶融金属が高温にさらされるので、多くの酸素、水素、窒素などのガスを吸収し、それらのガスが表面に浮き上がる前に凝固することによってできる空洞である。

チタン材の溶接を TIG 溶接で行う場合、チタン材は活性な金属であり、400~500℃程度の比較的低温でも、表面や裏側が容易に酸化してしまう。それを

防ぐため、不活性ガスであるアルゴンガスを管の外側と内側に流し、シールドするか、真空中で溶接しなければならない。今回は不活性ガス中での溶接を行った。シールドを行わなければ、母材の硬さに比べて、溶着金属の硬さが上昇してしまったので、脆くなり伸びも減少して割れやすくなる。しかし、シールドが十分にされていれば、母材硬さと比較してもほとんど硬化がみられないようになる。

3.3.1 アフターシールド

アフターシールドとは、トーチから流出するアルゴンガスで、大気と溶接面を遮断し、酸化を防ぐものである。今回の溶接では、それだけでは不十分であると考え、アルゴンガスだけを流出させる装置(図2)を使用した。管の中にはステンレススチールウールを詰め、アルゴンガスの流量を調整した。その装置を使用した結果、溶接した面が、使用していない時に比べ、酸化を抑えることができた。



図2 アフターシールド治具

3.3.2 バックシールド

バックシールドとは、溶接を行う面の裏側をシールドすることである。今回は、裏側のシールドをするために、バックシールド用治具(図3)を製作し、アルゴンガスでシールドすることにした。



図3 バックシールド治具



図4 シールドの有無での酸化の比較

図3に示すように、アルゴンガスを噴出させる穴を複数空けた銅管パイプをボトムブラケットシェル(以下BBシェルとする)の中心に通し、BBシェルの両サイドは真鍮製の蓋を製作し、密閉性を高めた。実際にバックシールドをすると、BBシェルの裏側も酸化せず、ねじ部も変形することなく、溶接することが出来た。

図4は板材でのバックシールド使用時と未使用時の比較で、使用していないほうが、全体的に酸化し

てしまったのが分かる。このことから、バックシールドはチタンの溶接において必要不可欠であると分かった。

4. フレームの組立てと溶接手順について

4.1 フレームの組立て

フレームを溶接する手順は、まず、自転車作成用治具にBBシェル、ヘッドチューブ、シートチューブを取り付け、レーザー芯出し器と角度測定器を用い、位置決めをし、固定した。そして最初にBBシェルとシートチューブを、次にメインフレーム、リアプレート、ヘッドチューブを仮付けし、基準が決まったところで治具から取り外し、強度を高くする為の補強のフレームを仮付けした。最後に、仮付けした部分の本溶接を行った。

4.2 チタンフレームの溶接条件

チタンフレームの溶接を行う際の基本条件は練習の時の条件を参考にしたが、BBシェルとシートチューブの溶接は、材料の肉厚が厚く、溶接中に母材の溶け込みが遅いと感じたので、電流を80Aに上げてバックシールドとアフターシールドを使用して溶接を行った。シートチューブと小径パイプ及びヘッドチューブと小径パイプの溶接では、母材よりも先に溶接棒が溶けてしまい、棒が母材に付着したため、電流を75Aに上げた。この時、上記で述べた両方のシールドを用いて溶接を行った。

小径パイプどうしの溶接において、アークを長時間当てると酸化してしまう原因となるので、電流を65~70A、パルス電流を45~50Aに上げて、母材の状態を見ながらアフターシールドを使用して溶接を行った。パルス電流を使用したのは、高い電流で母材を溶かし、低い電流で溶けた溶融池を冷やして溶接をするため、溶け落ちして穴が開く心配が大幅に低減できるようにするためである。しかし、小径パイプは肉厚が薄く、仮付けの時や本溶接の際に数ヶ所溶けてしまい穴が空いてしまった。



図5 完成したフレーム

5. おわりに

今回の制作では、フレームの形にはなったが、フレームの溶接部が数ヶ所穴が空いたり酸化してしまったので強度が低くなってしまったと考えられる。今後は、これを解決するために溶接技術のさらなる向上と、溶接施工条件の改良に取り組む必要がある。

チタンを使った自転車フレーム製作

～ チタン材自転車部品の製作と溶接基本条件～

生産技術科 宮本 直樹

1. はじめに

今年度は2008年度の総合制作における「チタンを使った自転車フレーム製作」を引き継ぎ、鉄鋼製自転車フレームの試作品を参考にし、主に軽量難削材であるチタンの機械加工及びTIG溶接技術の習得を目的として、チタン製自転車フレームの製作を行ってきた。ここでは、主にフレームに使用したチタン材の機械的性質と加工特性、各自転車部品の製作と溶接基本条件について述べる。

2. チタンについて

2.1 チタンの機械的性質

チタンの機械的性質は、比重が4.5と金属材料として非常に軽いことがあげられる。鉄鋼の比重7.9と比較すると約半分となり、軽量化が図れる。また材料の弾性比を示すヤング率を比較すると、自転車フレームに使用する純チタンは106GPaであり、鉄鋼のヤング率200GPaと比べて半分であるため、弾性が大きく繰り返し荷重や曲げに対して強い傾向がある。しかし機械加工の際は、材料自体の剛性が低く弾性変形が生じやすいため、チッピングやびびりが生じやすくなるという欠点がある。

2.2 チタンの加工性

チタンの加工性は、試作品のフレームで使用した圧力配管用炭素鋼管(STPG370)(以後炭素鋼管とする)と比べて以下の難点が存在する。1点目は熱伝導率が小さいため熱が工具と加工物に蓄積して工具の摩耗が大きくなる。これはステンレス(SUS304)の性質に類似する。2点目は化学的に活性で酸素や窒素と反応しやすい。このようにチタンを加工する際には、前者は機械加工、後者はTIG溶接作業の際に留意しながら加工を行う必要がある。

3. 各部品のチタン材での加工

フレームを製作するにあたり、機械加工及び曲げ加工による自転車部品の製作を行ってきた。ここでは、その部品の中からボトムブラケットシェルとフレームの成形加工について説明する。

3.1 ボトムブラケットシェルの製作

ボトムブラケット(Bottom Bracket:以後BBとする)は自転車部品のひとつで自転車の心臓部ともいえる部品である。

フレームの1部分に埋め込まれているため、ほとんど露出しないため見る機会は少ないがペダル・クランク部分を搭載しており、チェーンを駆動するための重要な部品である。BBを取り付ける部分を自転車ではBBシェルと呼ぶ。



図1 BBシェル

チタンでのBBシェル製作を行う前に試作品でも使用した炭素鋼管(φ46.5 全長73.0mm)を使用して段取りの確認をするために試作品を製作した。BBシェルのJIS規格では、ボトムブラケットは右側を正ねじ、左側を逆ねじで切ることが決められている。特に左側は、クランク・ペダルを回転させる方向とは逆方向に力が加わることを考慮しており、ねじが締まる方向にその力を利用するという考え方から逆ねじが施されている。また、BBが収まるシェル幅(68mm)とねじ山(1.370inch×24山)もJIS規格で決められている。ハイスねじ切りバイトを利用した旋盤でのねじ切り作業後、自転車専用のタップ工具を使用してねじを仕上げた。試作品を基にチタン材でのBBシェル製作を行った。

3.2 チタン材での加工

チタン材での機械加工の際は、加工特性からすべての加工工程に専用の切削油を用いて加工を行った結果、炭素鋼と同条件で加工を行うことができた。チタン材での加工では2点加工工程を変更した所がある。1点目は内径加工で、今回BBシェルで使用したチタン管(JIS H4630)は材料を曲げて接合部を溶接している。その溶接部のビードの余盛高さが0.2mm程あり、また余盛高さが長手方向に均一でないため、雌ねじの山の高さのばらつきを防ぐ目的でハイスの内径バイトでビード部を切削し、均一に仕上げた。2点目はねじ切り加工でビードの余盛が長手方向にばらつきがあることからハイスのねじ切りバイトで0.05mmの切り込みを4回入れて浅いねじ部を作成し、自転車専用のタップ工具でねじ部を仕上げた。試作品とチタン材でBBシェルの重量を電子天秤で計測し、比較したところ、試作品は178g、チタンは97gとなり機械的性質で説明した比重について実証することができた。

3.3 フレームの成形加工

3DCAD による強度解析の結果から、フレームにはφ10mmの純チタン管(JIS H4650)を使用して製作を行った。小径の管を使用することから、成形の際、管の潰れや R 部分のしわの発生を防ぐために、砂曲げを採用してフレームの成形を行った。砂曲げは管の内部に乾燥した砂を詰めてアセチレンガスで管をあぶり、温めた直後手曲げで同径の材料に押し当てながら少しずつ曲げていく成形加工法である。チタン管は炭素鋼管と比べ、熱しすぎると熱影響部が大きくなり表面が酸化し、他のフレームの部分と比べて強度が低下してしまう恐れがあることから、表面の焼け具合を確認しながら作業を行った。

4. チタン材の TIG 溶接条件

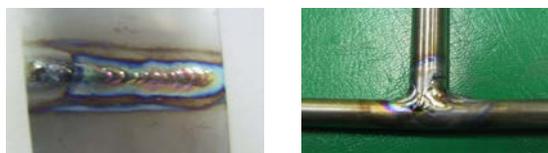


図2

自転車フレームの本溶接を行う前に、図2のように、板厚1mmのチタン板とフレームに使用するφ10mmのチタン管を使用してチタンの TIG 溶接条件の設定を行った。薄板(100mm×50mm)を使用し、シールドガスの有無による酸化の具合をビードの状態を確認した。これは、溶接部が酸化するとその部分が硬化し脆くなることからフレームの耐久性に影響を及ぼすためである。ビードの酸化の具合を確認する手法として写真判定がある。



図3 写真判定

1~4 までが合格範囲となっており 5~7 が不合格範囲となっている。可否の判断基準としてビードの表面が金属光沢を持った色であるか、表面の焼け具合等で主に判断される。

バックシールドとアフターシールドを使用し溶接を行った所、表面及び裏面の酸化を最大限に防ぐことが可能となり、ビードの状態も適切と判断される金属光沢を持った色となっていたため、許容範囲の3番から4番の状態になっていると判断することができた。アフターシールドを使用せずバックシールドのみで溶

接を行った場合、シールドガスを使用した時と比べ板材の酸化の度合いはわずかだが影響が出ていたため許容範囲外にあたる5番から6番の状態になっていると判断した。

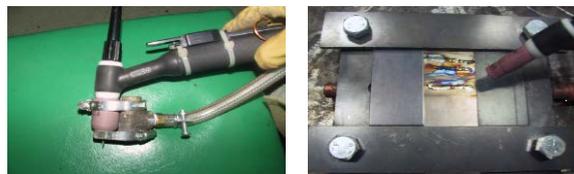


図4 アフターシールド(左)とバックシールド(右)の施工要領

チタン板の溶接作業の際は図4(左)の様にトーチノズルの後ろ側にアフターシールドガスのノズルを装着して作業を行った。また図4(右)の様にバックシールド治具を使用して裏側からシールドガスを流しながら作業を行った。チタン板(板厚1mm)の溶接条件を表1に示す。

表1 チタン板(板厚1mm)による溶接条件

ベース電流(A)	40
パルス電流(A)	30
パルス周波数(Hz)	2
トーチ流量(L/min)	15
バックシールド流量(L/min)	10
アフターシールド流量(L/min)	8

次にφ10mmのパイプにおけるすみ肉溶接について説明する。パイプの肉厚は1mmと薄いため、ベース電流のみで溶接を行うと材料が溶け落ちる危険性があることから、パルス電流を使用して溶接を行った。溶接時間が長くなると熱影響部が大きくなり酸化や溶け落ちの原因となってしまうため、できるだけ溶接時間は短くし、母材への入熱を制限する必要があることが分かった。φ10mm(肉厚1mm)パイプのすみ肉溶接の溶接条件を表2に示す。

表2 φ10mm(肉厚1mm)パイプのすみ肉溶接条件

ベース電流(A)	63
パルス電流(A)	35
パルス周波数(Hz)	2
トーチ流量(L/min)	15
アフターシールド流量(L/min)	8

5. 終わりに

フレームの各自転車部品の溶接と組立調整作業は終了し、平地での走行試験を行った。その結果は問題なく走行することができ、軽量化を図ったことにより、漕ぎ出しも非常に軽く感じた。今後は段差や悪路での走行試験、また応力ひずみゲージを使用した応力測定を行い、フレームに異常が出ないかを確認していく予定である。

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 12 月 2 日

科名：生産技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		チタンを使った自転車フレーム製作	
担当教員		担当学生	
○横山 真樹		○山本 秀貴	
		宮本 直樹	
課題実習の技能・技術習得目標			
<p>難加工素材であるチタン材料を用いた自転車のフレーム製作を通して、機械加工、塑性加工、溶接技術等のより実践的な技能・技術を習得します。また、課題に取り組む中でチームワーク作業、スケジュール管理、ヒューマンスキルについても習得できます。</p>			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
<p>エコブームから最近では自転車を通勤に利用したり、レジャーでの利用はもちろん健康面でもサイクリングが注目されています。そこで身近な乗り物としての自転車を製作することをテーマにしました。また、チタン材を採用することにより軽量化に特化した自転車フレームを目標にしています。チタン材は食品関係、機械プラント分野など工業材料として使用する機会も多くなってきており、その加工技術を習得することにより総合的な応用力を習得することができます。</p>			
実習テーマの特徴・概要			
<p>工業材料の中で比較的加工が難しいとされるチタン材料の機械加工の特性、溶接の特性を実験等により把握し、実際の自転車フレームの製作を行います。自転車のフレームについては3次元CADによる設計を行い、材料力学等の知識から安全面を検証します。完成後は歪ゲージを用いてチタンフレームの応力を測定し、製品の評価を行います。このように製品の設計・製作の最初から最後までを通して体験することにより、ものづくりの全体が把握できるようになります。</p>			
No	取組目標		
①	資材の選定、製作に係る諸経費の算出、スケジュール管理を行います。		
②	チタン材の切削加工、溶接技術について習得します。		
③	自転車の強度計算及び3次元CADによる自転車のフレーム設計について取得します。		
④	実習を通して生産技術における「ジグの重要性」と「ジグ製作」について習得します。		
⑤	課題を通して、グループ全員の機械加工技術及び溶接技術の向上を目指します。		
⑥	報告・連絡・相談を怠らず、作業に遅延を発生させないよう気を付けます。		
⑦	中間発表及びまとめの発表会、梗概集の作成を行います。		
⑧	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
⑨			
⑩			