

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

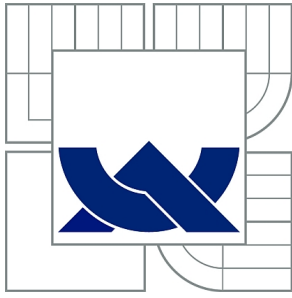
SVAŘOVÁNÍ RÁMU JÍZDNÍHO KOLA Z TITANOVÉ SLITINY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ RICHTER

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVÁNÍ RÁMU JÍZDNÍHO KOLA Z TITANOVÉ SLITINY

WELDING OF BICYCLE FRAME FROM TITANIUM ALLOY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ RICHTER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Richter

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Svařování rámu jízdního kola z titanové slitiny

v anglickém jazyce:

Welding of bicycle frame from titanium alloy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současný způsob zdravého života preferuje tělesný pohyb. Jednou z možností je jízda na vysokovýkonném silničním kole z titanových slitin. Svařování rámu kola je ovšem náročný výrobní proces.

Cíle bakalářské práce:

Navrhnout postup svařování titanového rámu kola. Návrh musí zahrnovat technologii svařování, přídavné materiály a potřebná opatření pro vytvoření kvalitního svaru.

Seznam odborné literatury:

- 1.DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
- 2.BLAŠČÍK,F. a kol. Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania, 1vyd. ALFA Bratislava 1988, 830s. ISBN 063-563-87
- 3.KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999,249s. ISBN 80-85771-70-5
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 6.1.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá svařováním rámu jízdního kola z titanové slitiny. První část je zaměřena na samotné jízdní kolo. Jsou zde rozebrány typy kol, materiály, ze kterých se rámy vyrábí a vliv některých rozměrů na jízdní vlastnosti. Další kapitola je věnována titanu. Tato kapitola popisuje vlastnosti titanu a jeho slitin používaných na rámy. Dále je popsána metoda TIG, kterou se titan nejčastěji svařuje. Tato metoda je zde zmíněna obecně i konkrétně pro svařování titanu. Poslední část je věnována technologii výroby rámu kola.

Klíčová slova

jízdní kolo, rám kola, titan, svařování, svařovací metoda TIG

Abstract

This bachelor's thesis is focused to titanium bicycle frame welding. The first part is about bicycle itself. It contains kinds of bikes, materials used for frames and influence of some proportions to handling properties. Next chapter is about titanium. There are properties of titanium and titanium alloys used for bike frames in this chapter. After that there is a chapter about TIG welding, which is mostly used for titanium. This method is mentioned both generally and concretely for titanium. Final part is about technology of bike frame building.

Keywords

bicycle, bike frame, titanium, welding, TIG welding

Bibliografická citace

RICHTER, T. *Svařování rámu jízdního kola z titanové slitiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Svařování rámu jízdního kola z titanové slitiny* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kubíčka a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 26. května 2010

Tomáš Richter

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jaroslavu Kubíčkovvi za odborné vedení práce, cenné rady, podnětné připomínky a za poskytnutí literatury. Dále bych rád poděkoval panu Bohumilu Mrázkovi za praktické rady z oblasti výroby rámu kol.

Obsah

Úvod	14
1 Jízdní kolo	15
1.1 Rám jízdního kola	15
1.2 Rozdělení jízdních kol	16
1.2.1 Silniční kola	16
1.2.2 Horská kola	17
1.2.3 Trekingová kola	17
1.2.4 Městská kola	18
1.3 Materiály používané na výrobu jízdních kol	18
1.3.1 Ocelové slitiny	18
1.3.2 Hliníkové slitiny	19
1.3.3 Titanové slitiny	19
1.3.4 Magnesium	19
1.3.5 Uhlíková vlákna	19
1.4 Geometrie jízdního kola	21
1.4.1 Předsazení vidlice a závlek kola	21
1.4.2 Hlavový úhel	21
1.4.3 Rozvor	21
1.4.4 Velikosti rámu	22
1.4.4 Další rozměry	22
1.5 Analýza rámu	22
2 Titan	23
2.1 Vlastnosti titanu	23
2.2 Technický titan	24
2.3 Slitina Ti6Al4V	24
2.4 Slitina Ti3Al2.5V	24
2.5 Svařitelnost titanu	25
3 Svařování metodou TIG	26
3.1 Svařovací hořák	26
3.2 Elektroda	27
3.3 Přídavný materiál	27
3.4 Svařovací zdroje	27
3.5 Ochranný plyn	28
3.6 Plynová zařízení pro ochranu titanu	28
3.6.1 Svařovací komora	28
3.6.2 Vlečná ochrana	28
3.6.3 Ochrana kořene svaru	28
3.7 Technika ručního svařování	29
4 Technologie výroby rámu kola	30
5 Závěr	31
6 Použité zdroje	32
7 Seznam obrázků a tabulek	33
7.1 Seznam obrázků	33
7.2 Seznam tabulek	33

Úvod

Prvním k dopravě určeným strojem podobným dnešnímu kolu bylo na začátku 19. století představené dřevěné odrážedlo. Dalším krokem ve vývoji kola bylo přidání šlapek k přednímu kolu. Vznikl tak nestabilní velociped s velkým předním kolem. Aby se mohlo přední kolo zmenšit, byl ke šlapkám přidán převod, a použití řetězu potom umožnilo pohánět zadní kolo. Na konci 19. století byl vynalezen rám tvořený dvěma trojúhelníky, který se používá i dnes.

V dnešní době lze jízdní kolo vnímat jako dopravní prostředek nebo také jako sportovní náčiní.

Hlavní výhodou kola jako dopravního prostředku je ekonomický a ekologický provoz. Při překonávání kratších vzdáleností ve městě je další výhodou kola jeho rychlost. Díky možnosti vyhnout se dopravním zácpám a jiným omezením a dojet a zaparkovat přesně v místě cíle cesty je v některých případech kolo dokonce nejrychlejší. Toho využívají například poslíčci ve velkých městech. Za výhodu je možné považovat také to, že pro jízdu je potřeba šlapat do pedálů a cyklistovi se tak dostane pohybu, kterého má část dnešní populace nedostatek.

Mnoho lidí jezdí na kole pro zábavu a tráví tak volný čas sportem na čerstvém vzduchu. Vybrat si lze z mnoha disciplín od najíždění mnoha kilometrů po silnicích přes jízdu přírodou na horském kole až po extrémní v podobě sjezdů, skoků a podobně. Ve všech disciplínách se také konají soutěže pro profesionální jezdce i pro veřejnost.

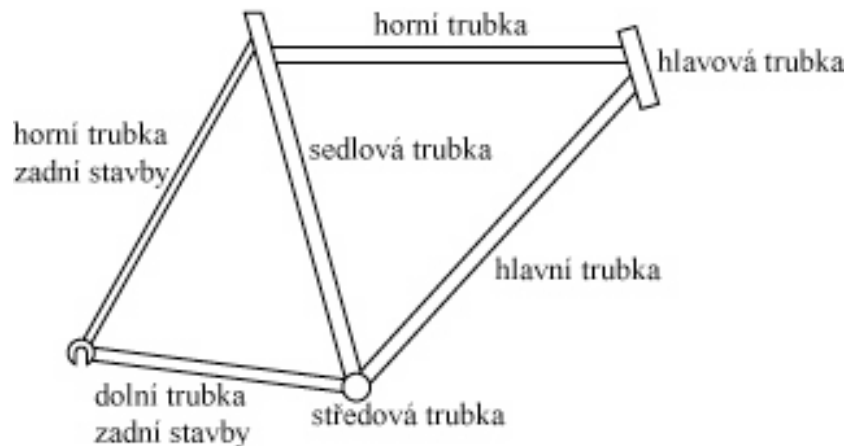
Díky tlaku konkurence a požadavkům profesionálních jezdců stále dochází, i přes to že je kolo poměrně jednoduchý stroj, k jeho vývoji. Díky tomu se v cyklistice setkáváme například s materiály, které jsou použity v letadlech i raketoplánech. Takovým materiálem je například titan.

1 Jízdní kolo

1.1 Rám jízdního kola

Rám je bezesporu nejdůležitější část jízdního kola. K rámu je připevněna většina komponent, geometrie rámu ovlivňuje jízdní vlastnosti kola a pohodlí jezdce, hmotnost rámu tvoří 15 až 25% hmotnosti celého kola a defekt rámu může mít velmi vážné následky.

V dnešní době je nejběžnější tvar neodpruženého rámu kola tvořen dvěma trojúhelníky (tzv. diamond). Přední trojúhelník tvoří hlavní trubka, hlavová trubka, horní trubka a sedlová trubka. Zadní trojúhelník nebo též zadní stavba je tvořen sedlovou trubkou a dvěma páry tenčích trubek vedoucích k patkám, ve kterých je uchyceno zadní kolo.



Obr. 1.1.1 Popis Rámu kola

Hlavní trubka, spojuje hlavovou trubku a středovou trubku. V hlavní trubce většinou také bývají závity pro uchycení držáku na láhev s pitím.

V hlavové trubce se nachází hlavové složení, obsahující ložiska která umožňují zatáčení.

Od hlavové trubky vede horní trubka k sedlové trubce. U silničních kol bývá tato trubka ve vodorovné poloze nebo klesá směrem k sedlové trubce, u horských kol klesá směrem k sedlové trubce téměř vždy. Takový rám se nazývá slopingový. U dámských kol, z důvodu snadného nastupování a vystupování z kola, je horní trubka přivařena ke spodní části sedlové trubky. Některá, například městská, kola tuto trubku vůbec nemají a mají pouze silnější hlavní trubku.

Sedlová trubka uzavírá přední trojúhelník od středové trubky nahoru k horní trubce. V sedlové trubce je uchycena sedlovka se sedlem. Posouváním sedlovky v sedlové trubce se nastavuje výška sedla.

Ve středové trubce je hlavové složení, obsahující osu na ložiskách, na které jsou nasazeny kliky s pedály.

V přibližně stejné úrovni jako horní trubka je k sedlové trubce přivařen pár horních trubek zadní stavby. Někdy tyto trubky bývají ještě spojeny krátkou trubkou nad kolem. K této trubce lze přišroubovat blatníky nebo nosič, u silničních kol je zde uchycena také zadní brzda. U ostatních kol s ráfkovými brzdami obsahují horní trubky zadní stavby návarky pro uchycení čepů těchto brzd.

Spodní trubky zadní stavby spojují středovou trubku a patky.

V trubkách zadní stavby mohou být prolisy pro vytvoření více místa pro plášť zadního kola.

K patkám je uchyceno zadní kolo a někdy také kotoučová brzda. U většiny kol se do patek nasazuje kolo zespodu, ale u kol s jedním převodem bývají patky otevřeny dozadu a mají delší drážku, která umožňuje posouváním kola nastavit správné napnutí řetězu. K některým zadním patkám lze také připevnit nosič a blatníky. [1]

1.2 Rozdělení jízdních kol

1.2.1 Silniční kola

Silniční kola jsou určena pro co možná nejrychlejší jízdu po kvalitním povrchu. Z toho důvodu mají lehké a velmi pevné rámy. Pro zmenšení aerodynamického odporu mají snížená řídítka a pro zmenšení valivého odporu velmi úzké pneumatiky nahuštěné na vysoký tlak. Rámy s vodorovnou horní trubkou jsou pohodlnější a stabilnější, slopingové rámy jsou zase obratnější a mají níž těžiště. Silniční kola se dále dělí na závodní kola, speciální kola na závod na čas neboli časovku, triatlonová kola a dráhová kola.



Obr. 1.2.1.1 Závodní silniční kolo Trek Madone 6.9 [10]

1.2.2 Horská kola

Horská kola nebo též MTB se používají pro jízdu v různě náročném terénu od jízdy po polních cestách až po sjezd obtížných tratí postavených v zimních střediscích. V terénu je kolo velmi namáháno, proto musí jeho rám vykazovat dostatečnou pevnost a odolnost proti únavovému lomu. V dnešní době jsou již všechna horská kola vybavena odpruženou přední vidlicí, která tlumí rázy působící na jezdce i na rám. Pokud má takové kolo pevnou zadní stavbu nazývá se hardtail. Celo-odpružená kola mají odpružené přední i zadní kolo. Nevýhodou celo-odpruženého kola je vyšší hmotnost oproti hardtailu. Další nevýhodou odpružených kol může také být při jízdě do kopce ztráta části energie v důsledku propuštění kola při každém šlápnutí. Tento problém však řeší uzamykatelné tlumiče.



Obr. 1.2.2.1 Závodní horské kolo Scott Spark RC [11]

1.2.3 Trekingová kola

Trekingová kola jsou do jisté míry kompromisem mezi silničními a horskými koly. Mají velká kola s poměrně úzkým pláštěm, takže na silnici mají menší odpor než horská kola, ale lze s nimi jet i v lehkém terénu. Odolné hliníkové rámy mají geometrii nastavenou pro pohodlnou jízdu. Z těchto důvodů jsou trekingová kola vhodná pro cykloturistiku.



Obr. 1.2.3.1 Trekingové kolo Author Advent [12]

1.2.4 Městská kola

Kolo je ekologický a ve městě praktický a poměrně rychlý dopravní prostředek. Stále více lidí proto využívá pro dopravu po městě městská kola. Pro pohodlné nastupování rámy nemají horní trubku. Pro pohodlnou vzpřímenou polohu cyklisty je geometrie navržena tak, aby řídítka byla podstatně výše než sedlo. Městská kola také bývají vybavena komponenty, které jsou pokud možno bezúdržbové.



Obr. 1.2.4.1 Městské kolo Viva Julieta [13]

1.3 Materiály používané na výrobu rámu jízdních kol

1.3.1 Ocelové slitiny

Ocel je první kovový materiál, ze kterého se vyráběly rámy kol. Před ocelí se používalo pouze dřevo. V dnešní době velcí výrobci rámu ocel téměř nepoužívají a vyrábí z ní pouze velmi namáhané rámy z kategorie BMX nebo například freestylová horská kola. Další ocelové rámy jsou pak vyráběny převážně v malých “garážových” firmách.

Ke stavbě ocelového rámu se nejčastěji používá legovaná ocel 25CrMo4. Je také možné se setkat s americkým označením 4130, které se v cyklistice užívá více. Tato ocel je legována chromem, molybdenem a manganem. Trubky se spojují pájením nebo svařováním. Pájí se buď natupo nebo do spojek, jako pájka se používá měď nebo její slitiny. Ke svařování se používá převážně metoda TIG. Protože má ocel dobrou tažnost, lze trubky snadno tvarovat a získat tak optimální vlastnosti rámu. Tenké stěny a malé průměry trubek přispívají k relativně nízké hmotnosti. Ocelové rámy mají díky vysoké mezi pružnosti dlouhou životnost. [2,1]

1.3.2 Hliníkové slitiny

Hliník je v dnešní době nejpoužívanější materiál na stavbu rámu kol. Hliníku původně bránila k jeho většímu rozšíření do oblasti kol jeho vysoká cena, nižší pevnost v tahu a složitě svařování. Jeho dnešní rozšíření je možné díky vyspělosti svařovací techniky a také díky cyklistovi Gary Kleinovi, který v roce 1973 ve své diplomové práci na téma tvorba hliníkového rámu použil trubky velkých průměrů s tenkou stěnou.

Hliníkové rámy jsou nejčastěji vyráběny z hliníkové slitiny 6061, kde jsou hlavní legující prvky hořčík a křemík a ze slitiny 7005, která je legována převážně zinkem. Hliníkové trubky lze dobře obrábět a lze je také snadno tvarovat pomocí hydroformingu. Svařují se metodou TIG nebo MIG při strojním svařování. Kvůli nízké pevnosti je třeba na rám použít trubky o větším průřezu a s větším množstvím materiálu, což způsobuje velkou tuhost rámu, někdy až příliš velkou. [2,1]

1.3.3 Titanové slitiny

Titan se kvůli své vysoké ceně nikdy nerozšířil mezi běžná kola, avšak díky svým vlastnostem jsou titanové rámy často považovány za nejlepší. Hlavními přednostmi titanu jsou největší poměr pevnosti a hustoty ze všech kovových materiálů, velmi dobrá korozivzdornost a nízká náchylnost k únavovým zlomům. Optimálních vlastností se dosahuje přidáním legujících prvků, především hliníku a vanadu. Označení těchto slitin používaných na rámy je Ti6Al4V a Ti3Al2.5V. Titan se svařuje stejně jako ocel metodou TIG, avšak je nutné svar a tepelně ovlivněnou oblast lépe chránit před okolní atmosférou. Pružnost titanu zajišťuje pohodlné rámy, avšak lehké rámy nemusí mít dostatečnou boční tuhost. Tomu se dá předejít použitím trubek o větším průměru nebo hydroformingem tvarovaných trubek. Nevýhodou titanu je vyšší pravděpodobnost iniciace trhliny v místě vrubu. [2]

1.3.4 Magnesium

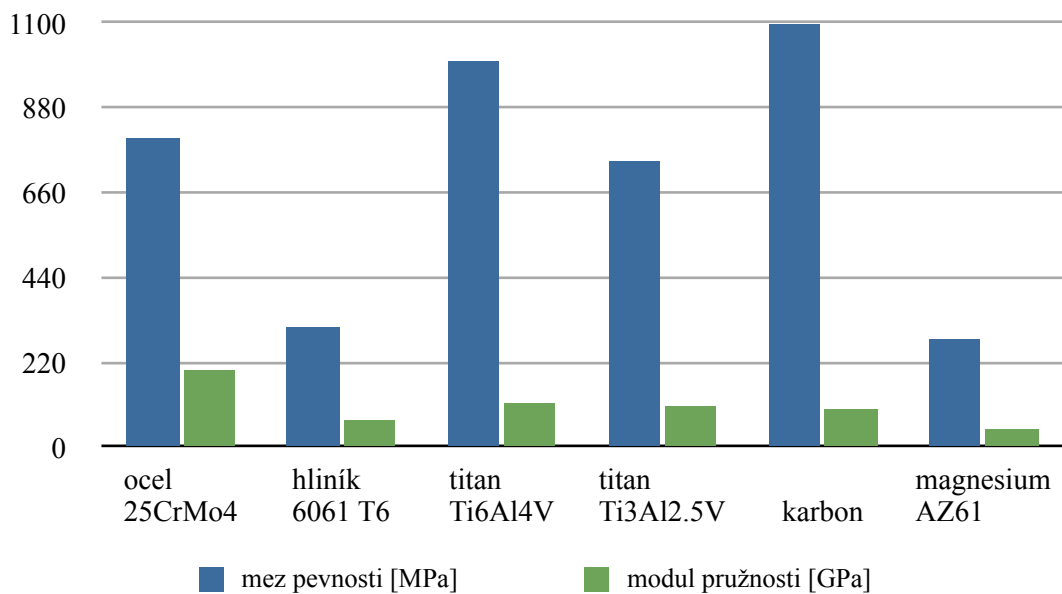
Magnesium se v cyklistice objevuje již dlouho, avšak poměrně zřídka. Je to nejlehčí obrobitelný kov, který výborně tlumí vibrace a má dobré únavové vlastnosti. Ostatními vlastnostmi je tento materiál hodně podobný hliníku. Největší nevýhodou magnesia je jeho reaktivita s okolím. Proto jsou u rámu z magnesia kladeny vyšší požadavky na kvalitu povrchové úpravy. [2]

1.3.5 Uhlíková vlákna

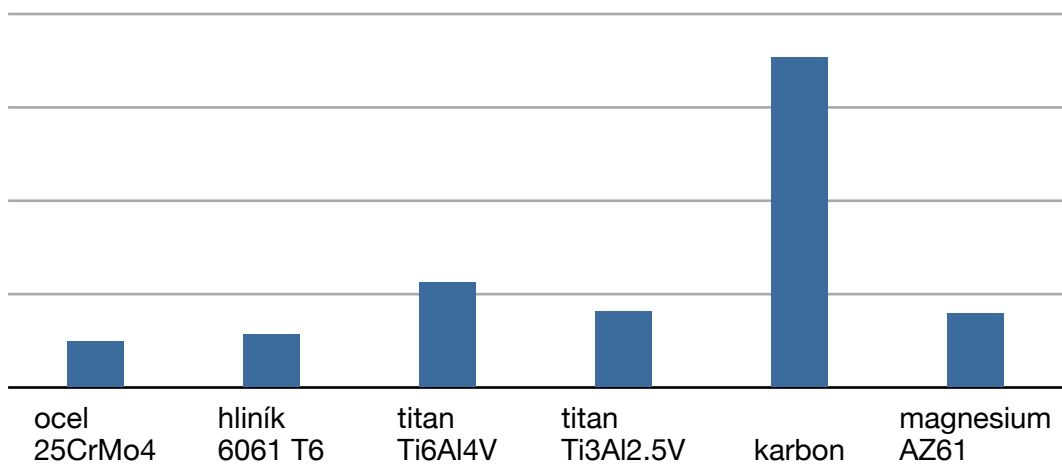
S klesající cenou se rámy z uhlíkových vláken (karbonové rámy) stávají stále více populárními. Největší výhodou tohoto materiálu je nejlepší poměr hmotnosti a pevnosti. Další velkou výhodou je možnost vytvarovat vlákna téměř do libovolného tvaru, čímž lze vyrobit rám, který optimálně přenáší všechny síly a pruží jen v požadovaném směru. Rám také může mít aerodynamický tvar, který sníží odpor vzduchu. Všechny tyto vlastnosti lze dosáhnout při zachování velmi nízké hmotnosti. Nevýhodami tohoto materiálu jsou nižší rázová houževnatost a větší sklony k únavovému lomu. [1]

Tab. 1.3.1 Vlastnosti jednotlivých materiálů

	ocel 25CrMo4	hliník 6061 T6	titan Ti6Al4V	titan Ti3Al2.5V	karbon	magnesium AZ61
hustota [kg/m ³]	7900	2700	4430	4480	1550	1738
mez pružnosti [MPa]	650	240	910	610	1000	150
mez pevnosti [MPa]	800	310	1000	740	1100	280
tažnost [%]	15	8	18	17	2	7
modul pružnosti [GPa]	200	69	114	107	98	45



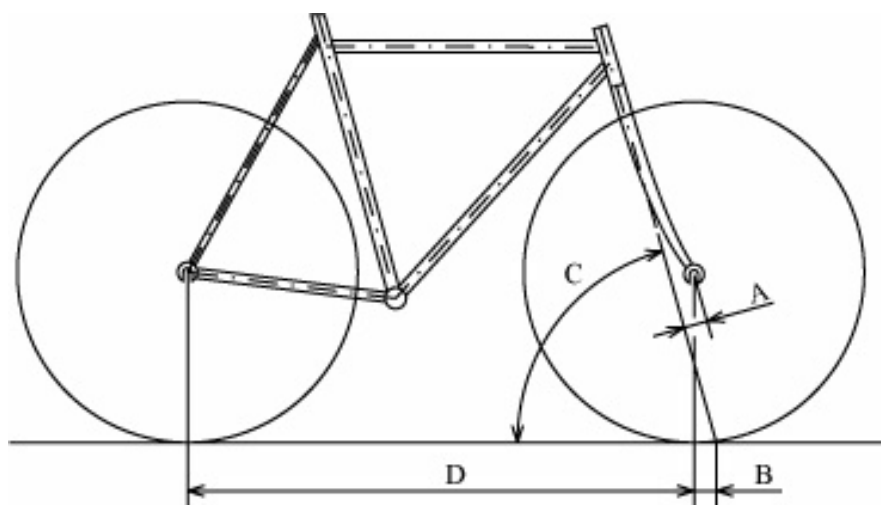
Obr. 1.3.1 Porovnání meze pevnosti a modulu pružnosti jednotlivých materiálů [2]



Obr. 1.3.2 poměry pevnosti a hmotnosti jednotlivých materiálů [2]

1.4 Geometrie jízdního kola

Geometrie rámu kola, především předsazení vidlice (A), závlek kola (B), hlavový úhel (C) a rozvor kol (D) významně ovlivňují jeho chování a ovladatelnost.



Obr. 1.4.1 Geometrie kola

1.4.1 Předsazení vidlice a závlek kola

Předsazení vidlice je vzdálenost středu kola od osy otáčení řízení. Předsazení vidlice spolu s hlavovým úhlem a poloměrem předního kola určuje závlek kola. Závlek kola je vodorovná vzdálenost mezi osou řízení a místem, kde se přední kolo dotýká země. Silniční kola mají předsazení vidlice 40 až 55 mm nejčastěji 43 až 45 mm a závlek 50 až 63 mm. Nejlepšího kompromisu mezi ovladatelností a stabilitou se dosahuje se závlekiem 57 mm. Horská kola mají menší předsazení vidlice, nejčastěji 38 až 40 mm. [3]

1.4.2 Hlavový úhel

Hlavový úhel je úhel který svírá osa řízení s vodorovnou rovinou. Hlavový úhel spolu s předsazením vidlice určuje, jak hodně bude kolo reagovat na naklonění do strany. Čím je hlavový úhel větší, tím je také třeba menší síla k zatočení, zvláště při velkém předsazení či malém závleku. Hodnota hlavového úhlu se pohybuje u silničních kol v rozmezí 71° a 74° , u horských kol přibližně o 2° méně. [3]

1.4.3 Rozvor

Rozvor je vzdálenost mezi středy kol a jeho velikost závisí na velikosti hlavového úhlu, na předsazení vidlice a na délce rámu. Rozvor ovlivňuje rozložení váhy na přední a zadní kolo. Zadní kolo by mělo být zatíženo asi 55% celkové váhy jezdce a kola, na přední kolo zbývá 45%. Správné rozložení hmotnosti zvyšuje stabilitu v zatáčkách. Vzdálenost mezi koly má spolu s výškou výsledného těžiště jezdce a kola také vliv na podélnou stabilitu. Při kratším rozvoru se kolo snadněji zvedne na zadní nebo přední kolo. Delší kola jsou zase méně obratná. [3, 1]

1.4.4 Velikosti rámu

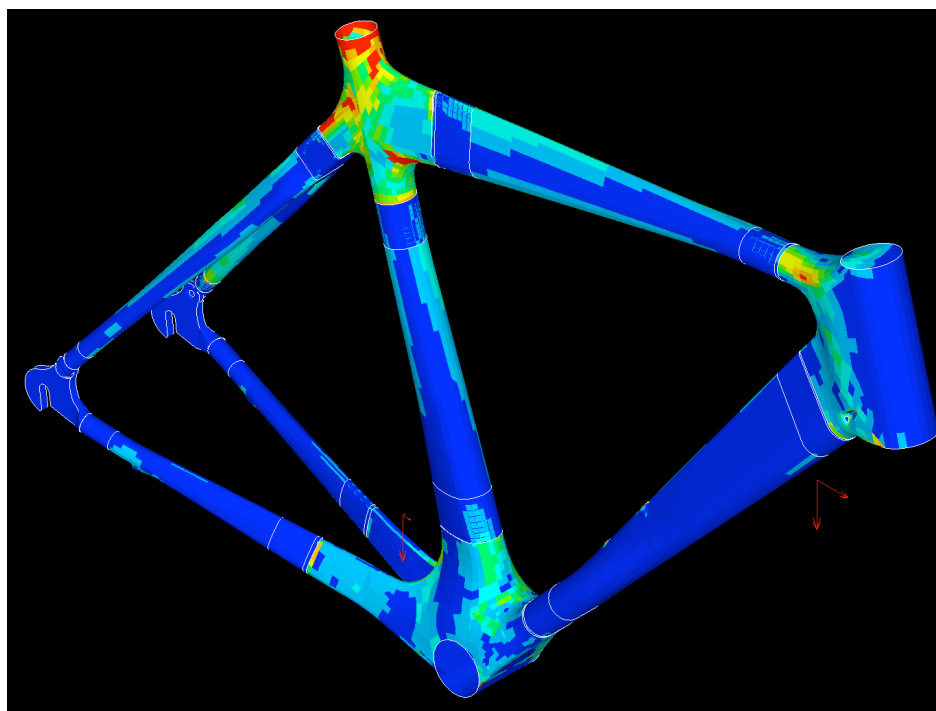
Velikost rámu se udávají podle vzdálenosti mezi středem středového složení a horním koncem sedlové trubky. U horských kol bývá tato vzdálenost 380 až 430 mm, u silničních kol 470 až 625 mm. Tyto hodnoty vypovídají o rámu kola jen velice málo.

1.4.4 Další rozměry

Běžně výrobci rámu kol udávají také tyto rozměry: délka horní trubky, délka hlavové trubky, vzdálenost mezi středem středového složení a středem zadního kola, vzdálenost středu středového složení od spojnice středů kol a také úhel, který svírá sedlová trubka s vodorovnou rovinou.

1.5 Analýza rámu

Pevnostní analýza při návrhu nového rámu je vhodná k odhalení nejvíce namáhaných míst a také k odlehčení rámu ubráním materiálu v místech, která jsou namáhána méně. Analýza se provádí na počítačovém modelu rámu výpočtem pomocí metody konečných prvků. Metoda konečných prvků spočívá v tom, že počítač rozdělí rám na mnoho malých částí a ve všech uzlových bodech těchto částí vypočítá napěťové a deformační charakteristiky. Analýzu provádí převážně velcí výrobci kol. Menší výrobci často analýzu nedělají, při návrhu rám o něco více naddimenzují a dále vychází z vlastní zkušenosti.



Obr. 1.5.1 Výpočet napětí metodou konečných prvků [14]

2 Titan

2.1 Vlastnosti titanu

Titan je polymorfní kov, bílé barvy, měrné hmotnosti $4,5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, s teplotou tání $1668 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Čistý titan je tvárný a poměrně měkký. V žíhaném stavu má pevnost 240-550 MPa a tažnost 15-25%. Čistý titan má poměrně nízkou tepelnou vodivost i nízký koeficient tepelné roztažnosti, což přispívá k jeho dobré svařitelnosti. Na vlastnosti titanu mají rozhodující vliv nečistoty, které se dostávají do kovu při jeho výrobě. Již malé množství nečistot ovlivňuje do značné míry vlastnosti titanu. Přímíšeniny, které tvoří s titanem intersticiální tuhé roztoky, např. kyslík, dusík, uhlík, vodík, ovlivňují vlastnosti titanu podstatně intenzivněji než přímíšeniny, které tvoří s titanem substituční tuhé roztoky. [5]

Titan má stabilní, hexagonální krystalickou mřížku α až do teploty $882 \text{ }^\circ\text{C}$, která je teplotou přeměny na prostorově centrovanou kubickou mřížku β . V této modifikaci je stabilní až do teploty tání. [6]

V modifikacích titanu α i β se dobře rozpouští kyslík a dusík. Modifikaci α oba tyto prvky značně stabilizují. Vyšší obsahy kyslíku nebo dusíku v titanu způsobují zvýšení pevnosti, meze kluzu a tvrdosti, naopak tažnost a houževnatost snižují. Maximální dovolené množství kyslíku v technickém titanu je 0,15 hm.%, dusíku 0,05 hm.%. [5]

Rozpustnost uhlíku v obou modifikacích titanu za normálních teplot je pouze 0,25 hm.%. Pokud je obsah uhlíku vyšší vzniká karbid titanu TiC. Uhlík ovlivňuje mechanické vlastnosti obdobně jako kyslík a dusík, navíc však významně zhoršuje svařitelnost titanu. Z toho důvodu ho může být v titanu maximálně 0,1 hm.%. [5]

Také vodík zvyšuje pevnost a tvrdost titanu, ale výrazně snižuje jeho vrubovou houževnatost. S titanem tvoří hydrid titanu TiH_2 , který způsobuje stárnutí titanu. Maximální dovolené množství vodíku v technickém titanu je 0,003 hm.%. [5]

Železo do obsahu 0,1 hm.% nemá na titan významný vliv. Při vyšším obsahu zvyšuje stejně jako většina příměsí pevnost a tvrdost a zhoršuje tvárnost. Maximální obsah je 0,3 hm.% [5]

Křemík je v titanu přítomen do obsahu 0,1 hm.%. Zhoršuje houževnatost. [5]

2.2 Technický titan

Jeho druhy se rozlišují podle hodnot jeho mechanických vlastností, zejména podle jeho tažnosti a kontrakce. Jiné je podle tvrdosti. Mechanické vlastnosti lze zvýšit tvářením za studena. Dokonalá rekrytalizace je možná při teplotním režimu $650 \text{ až } 700 \text{ }^\circ\text{C}/1 \text{ hodina}$, nebo také $300 \text{ }^\circ\text{C}/1000 \text{ hodin}$. Teploty tváření jsou $800 \text{ až } 1000 \text{ }^\circ\text{C}$, tzn., že se tváří v oblasti β . Za vysokých teplot titan značně oxiduje a nitriduje. [5]

Titan má vysokou odolnost proti korozi a v některých prostředích předčí i odolnost korozivzdorných ocelí. Podobně jako u těchto ocelí vytváří titan ochranné pasivační vrstvy.

Slitiny titanu se obvykle klasifikují dle rozpustnosti přísadových prvků ve fázi α a fázi β a jejich substitučního vlivu na tyto fáze. Dělí se do tří skupin:

Prísadový prvek se více rozpouští v hexagonální fázi α než v kubické fázi β . Takto se projevuje přísada hliníku, dusíku, kyslíku a uhlíku.

Prísadový prvek se více rozpouští ve fázi β než ve fázi α . Na stabilizaci fáze působí přísada molybdenu, niobu, tantalu a vanadu. Mírný stabilizační účinek má cín, a zirkon. Tyto slitiny mohou být homogenní nebo heterogenní.

Prísadový prvek se více rozpouští ve fázi β než ve fázi α a fázi β stabilizuje. Za nižších teplot dochází k eutektické reakci při níž vzniká eutektoid tvořený tuhým roztokem α a intermetalickou fází, která je bohatá na přísadový prvek. Takto působí mangan, železo, chrom, křemík, měď, stříbro a vodík. [5]

2.3 Slitina Ti6Al4V

Tato slitina je nejpoužívanější ve strojírenství i konkrétně na stavbu rámu kol. Tvoří dvoufázovou strukturu $\alpha + \beta$, má velmi vysokou pevnost, ale nižší tažnost a je dobře svařitelná. Do teploty 400 °C nereaguje s ostatními prvky. Obsahy legujících prvků jsou uvedeny v tab. 2.3.2.

2.4 Slitina Ti3Al2.5V

Slitina Ti3Al2.5V je podobná slitině Ti6Al4V, obsahuje však menší množství legujících prvků viz. tab. 2.3.1 a je lépe tvářitelná a svařitelná.

Tab. 2.4.1 Mechanické vlastnosti slitin titanu za pokojové teploty [15]

	Ti6Al4V		Ti3Al2.5V	
	min. hodnoty	běžné hodnoty	min. hodnoty	běžné hodnoty
mez pružnosti [MPa]	825	910	485	610
mez pevnosti [MPa]	895	1000	620	740
tažnost [%]	10	18	15	17
kontrakce [%]	20	-	25	-
tvrdost [HV]	-	330-390	-	260-320
modul pružnosti [GPa]	-	114	-	107
nárazová práce u charpyho zkoušky s V vrubem [J]	-	20-27	-	48-102

Tab. 2.4.2 Obsahy legujících prvků v hmotnostních % [15]

	O	N	C	H	Fe	Al	V
Ti6Al4V	0,20	0,05	0,08	0,015	0,40	5,5-6,75	3,5-4,5
Ti3Al2.5V	0,15	0,02	0,08	0,015	0,25	2,5-3,5	2,0-3,0

2.5 Svařitelnost titanu

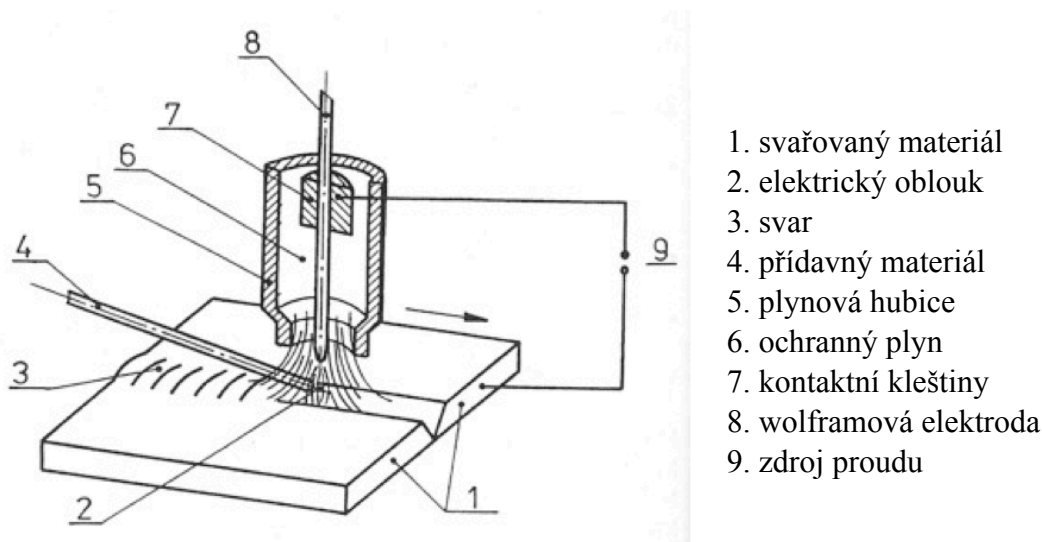
Protože titan při vyšších teplotách snadno reaguje s ostatními prvky, je nejdůležitější faktor pro kvalitu svaru ochrana roztaveného kovu před všemi zdroji kontaminace. Z tohoto důvodu není vhodné svařování obalenou elektrodou a svařování v aktivním plynu. [7]

Titan lze svařit různými metodami: metodou TIG, plasmou, laserem, paprskem elektronů i odporovým svařováním. Ve strojírenství se ke svařování titanu používá nejvíce metoda TIG, ke svařování rámu kola se tato metoda používá téměř výhradně. [7]

3 Svařování metodou TIG

Zkratka TIG pochází z anglického tungsten inert gas welding (česky svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu). V některé literatuře se můžeme setkat také se zkratkou WIG, která pochází z němčiny. Při svařování metodou TIG hoří elektrický oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem. Přídavný materiál se přidává ručně ve formě svařovacího drátu nebo podavačem drátu při automatickém svařování. Tavná lázeň, elektroda a tepelně ovlivněná oblast je chráněna argonem, heliem nebo jejich směsí. Ochranný plyn musí mít vysokou čistotu. [8]

Metoda TIG se díky vysoké kvalitě svarů a snadnému ovládnutí oblouku používá ke svařování velkého množství materiálů. Stejným proudem se svařuje například vysokolegovaná ocel, měď, nikl a titan. Při použití střídavého nebo impulsního proudu lze snadno svařovat hliník a hořčík nebo jejich slitiny. [8]



Obr. 3.1. Svařovací hořák s netavící se elektrodou [8]

3.1 Svařovací hořák

Svařovací hořák zajišťuje přívod elektrického proudu a ochranného plynu do svaru. Pro svařování proudem do 200 A je hořák chlazen pouze proudícím plynem, při svařování většími proudy se používá chlazení vodou, které je častější při strojním svařování.

Mosazné nebo měděné kleštiny v hořáku slouží k uchycení a k přenosu proudu na wolframovou elektrodu. Aby se co nejvíce snížil přechodový odpor, musí být elektroda uchycena velmi pevně. Pro jednotlivé průměry elektrod musí být použity odpovídající kleštiny. Ochranný plyn proudí ke svaru z trysky. Velikost trysky závisí na velikosti oblasti, která má být plynem chráněna, na velikosti elektrody a na tvaru svarového spoje. Nejčastěji se používají keramické trysky, pro vodou chlazené hořáky se používají měděné a pochromované trysky. Aby se zlepšilo laminární proudění ochranného plynu a zabránilo se tak turbulenci a kontaminaci ochranné atmosféry, lze použít plynovou čočku. Při jejím použití lze více vysunout elektrodu, a je tak možné provádět svary v hůře dostupných místech. [8, 9]

3.2 Elektroda

Pro svařování metodou TIG se používají elektrody z wolframu, protože má z čistých kovů nejvyšší teplotu tavení (3410 °C), v průběhu svařování zůstává v tuhé fázi, a proto neubývá. Může pouze pomalu uhořívát. Pro zlepšení vlastností, například pro snížení teploty a zvýšení životnosti elektrody a pro snadnější zapálení a stabilní hoření oblouku, se používají elektrody ze slitin Wolframu. Používané příměsi jsou: cer, lanthan, thorium a zirkon. Výběr elektrody závisí na druhu proudu a svařovaném materiálu. Průměry elektrod jsou od 0,5 do 10 mm a délky se pohybují v rozmezí 50 až 175 mm. [8, 9]

Ke svařování titanu se používají elektrody s obsahem 1% až 2% thoria, které jsou vytvarované do špičky se zaobleným hrotem. [7]

3.3 Přídavný materiál

Přídavný materiál se při svařování metodou TIG přidává téměř vždy, výjimkou je pouze svařování tenkých materiálů. Podle daného použití je vyroben z různých materiálů a má různé rozměry. Většinou je ve formě drátu, který se ručně přidává do svarové lázně. [9]

Pro svařování titanu se používá přídavný materiál podle standardu AWS A5. 16-90.

Při ručním svařování se používá drát do průměru 1,6 mm pro svařování natupo do tloušťky materiálu 4,5 mm. Nad tuto tloušťku se používají dráty o průměrech 2,4, 3,2 a 4 mm. Pro automatizované svařování se používají průměry 0,8, 1,1 a 1,6 mm. [7]

3.4 Svařovací zdroje

Při svařování netavící se wolframovou elektrodou se používají zdroje, které udržují konstantní proud, což je důležité pro udržení přibližně konstantní teploty svaru zejména při ručním svařování, kdy se mění délka oblouku a velikost napětí. [9, 7]

Při svařování stejnosměrným proudem se ve většině případů připojuje elektroda k zápornému pólu a svařovaný materiál ke kladnému, takové zapojení se nazývá přímé a je výhodné proto, že větší část tepla se přenáší do svařovaného materiálu a elektroda je tak méně zatěžována. K ohřevu materiálu přispívá i kinetická energie elektronů, které letí směrem k němu. Nepřímé zapojení se používá jen výjimečně.

Střídavý proud je vhodný ke svařování hliníku a hořčíku, které jsou pokryty vrstvou oxidu o vysoké teplotě tání. Ve fázi, kdy je elektroda kladná, se oxidy snadněji odpařují a také se stahují k okraji svarové lázně. [8, 9]

Pro svařování titanu se používá přímé zapojení elektrody nebo svařování impulsním proudem. Je důležité, aby zdroj udržoval co nejvíce konstantní proud. K zapálení oblouku je vhodný proud o vysoké frekvenci. Lepší operativnost umožní ruční nebo nohou ovládaný regulátor proudu. [7]

3.5 Ochranný plyn

Ochranné plyny zabezpečují ochranu netavicí se elektrody, svarové lázně a jejího okolí proti vlivům okolního vzduchu, především proti oxidaci a naplynění. Současně vytvářejí příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, přenos tepla do svaru i jeho tvarování. [8]

Nejpoužívanějším plynem je argon, je levný, díky vysoké hustotě se v něm oblouk dobře zapaluje a je stabilní a také zabraňuje defektům při nestejně dlouhém oblouku. Helium umožňuje svařovat materiály s vysokou tepelnou vodivostí, zvětšuje hloubku závaru a rychlost svařování. Směs argonu a helia kombinuje kladné vlastnosti obou plynů. [8, 9]

Ke svařování titanu je nutné použít argon nebo helium o čistotě alespoň 99,995%. Rosný bod těchto plynů nesmí překročit teplotu -51 °C.

Všechny části systému na rozvod plynu musí být čisté, dobře těsnící a bez vlhkosti. Systém musí také zajistit, aby teplota rosného bodu v blízkosti hořáku nepřesáhla -40 °C. Nevhodné je použití gumových hadic kvůli jejich porezitě. [7]

3.6 Plynová zařízení pro ochranu titanu

3.6.1 Svařovací komora

Jedná se o uzavřenou komoru, do které vedou gumové rukavice. Z této komory se po upevnění výrobku vypustí téměř všechn vzduch a komora se naplní ochranným plynem.

Existují různé rozměry a tvary, ovšem existují limity největší velikosti. Lze také použít svařovací komory z plexiskla, ve kterých nelze dosáhnout tak vysokého stupně vakua. V těchto komorách se atmosféra před svařováním vyčistí pomocí ochranného plynu. Svařovací komora může být také ve formě průhledného plastového vaku. Komoru specifických rozměrů lze také vyrobit pomocí desek plexiskla, slepených lepicí páskou. [7]

3.6.2 Vlečná ochrana

Tento typ ochrany se používá hlavně pro větší konstrukce, a také pro hromadnou výrobu, kde se rozloží náklady na speciální vybavení. Při tomto způsobu chránění je svařovaná oblast chráněna ochranným plynem ze svařovacího hořáku. Tryska hořáku by měla mít, podle rozměrů svaru, průměr 20 mm a více. Ideální je použít co možná největší trysku. Vhodné je též použít plynovou čočku. Kvůli afinitě titanu k jiným prvkům je potřeba chránit všechny oblasti, které mají vyšší teplotu než 350-400 °C. K tomu slouží sekundární chránění, které tvoří komora uchycená k hořáku. Tvar této komory závisí na svařovací poloze a tvaru svařence. Komory se běžně vyrábí ze železa a spodní stranu mají vytvořenou z porézního materiálu. Je nutné komoru navrhnout tak, aby ochranný plyn proudil do míst svaru a aby proudil bez turbulencí. [7]

3.6.3 Ochrana kořene svaru

Při svařování titanu je nutné chránit také kořen svaru. U svařování trubek rámu kola se trubka naplní ochranným plynem.

3.7 Technika ručního svařování

Ruční svařování TIG je stále velmi používaná metoda především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny nezelezných kovů. Má své nezastupitelné místo při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové a malosériové výrobě tam, kde potřebujeme svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou. [8]

Technika svařování TIG připomíná svařování plamenem, kde místo teplem plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější. Při svařování je důležité, aby přídavný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranné atmosféry a nebyl kontaminován vzduchem. Při kontaminaci hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně. Při kontaminaci je nutné drát před dalším použitím očistit. [8]

Metodou TIG se dá svařovat ve všech polohách a svařuje se zpravidla dopředu. Při svařování dopředu se hořák pohybuje vlevo (u praváků), tyčka přídavného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem.

V základní poloze je poloha hořáku kolmá k příčné ose svaru, čímž se zajistí rovnoměrné natavení obou polovin svařovaného materiálu. Sklon hořáku v podélné ose je cca 10° vzad a úhel sklonu tyčky 60° až 80° vpřed od kolmice v místě hoření oblouku.

Polohování hořáku i přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování, složitosti a tvaru svařence, dostupnosti svaru atd. [8]

Tab. 3.7.1 Parametry pro svařování titanu metodou TIG [7]

tloušťka [mm]	průměr drátu [mm]	průměr elektrody [mm]	proud	průtok argonu [l/min]	průměr trysky [mm]
≤ 2,4	1,6	1,6	80-120	6-7	13-16
2,4-5,1	1,6-3,2	1,6-2,4	120-210	7-9	16-19
6,4	2,4-4,0	2,4-3,2	140-225	7-9	19-25

Elektroda se vysunuje přibližně 4 až 6 mm před úroveň trysky. Pro hluboké svary ve tvaru V, pro koutové svary a pro špatně přístupné svary lze vysunutí elektrody zvětšit do 25 mm. Je však důležité, aby byla zachována plynová ochrana svaru, proto by měla být elektroda vysunuta co nejméně. Délka oblouku by měla být co nejkratší. Důležité je také vyhnout se kontaminaci při kontaktu elektrody se svarovou lázní. Pokud k tomu dojde, je nutné svar obrousit a očistit. I elektroda musí být před dalším použitím obroušena. [7]

Rychlost svařování závisí na proudu ochranného plynu. Pokud se rychlost zvýší, je nutné zvětšit velikost ochranného zařízení a průtok ochranného plynu. Je důležité najít pro dané podmínky optimální kombinaci rychlosti, velikost vlečné ochrany a proudu plynu. [7]

Protože tepelná vodivost titanu je velmi nízká, je nutné také dávat pozor na neprůvary. [7]

4 Technologie výroby rámu kola

Titanové trubky se nejčastěji řezou na požadované délky pásovou pilou. Aby nedošlo ke kontaminaci titanu, nesmí jeho teplota při řezání překročit 400 °C, a proto je nutné řezat nižší řezací rychlostí. Dále se konce trubek frézují nebo brousí tak, aby při sestavení rámu k sobě doléhali co nejtěsněji. Opět se titan nesmí příliš zahřát.

Před svařováním je nutné trubky pečlivě očistit od veškerých nečistot, které by se mohli dostat do svaru. Čistí se mořením v roztoku s 10-20% kyseliny dusičné a 2-5% kyseliny chlorovodíkové. Moří se při teplotě asi 20 °C, 2 až 20 minut podle množství oxidů. Po moření se materiál opláchne vodou nebo lihem a vysuší. Také přídatný materiál by měl být zbaven oxidů. [7]

Dále se trubky a zadní patky uchyťí do svařovacího přípravku, který je drží přesně v požadované poloze. Při svařování je nutné chránit kořen svaru, proto se trubky napouští argonem. Svařuje se metodou TIG v ochranné atmosféře argonu s přímým zapojením elektrody nebo pulsním proudem. Všechny trubky se nejprve sbodují a poté se zkontroluje geometrie. Pro zachování správné geometrie je vhodné svařit co největší část svarů ve svařovacím přípravku. Ještě před zapálením oblouku i po jeho zhasnutí je třeba svar chránit argonem. Nejjednodušší kontrola kvality svaru je podle zbarvení. Kvalitní svar má lesklou stříbrnou nebo zlatavou barvu. Matná modrá a šedá barva ukazuje přítomnost oxidů ve svaru. Takový svar je nevyhovující, protože je velmi křehký. Svary je také možné zkontrolovat rentgenem.

Po svařování se opět zkontroluje geometrie rámu, do středové trubky se vyřeže závit pro uchycení středu a vystruží se sedlová a hlavová trubka.

Protože je titan velice citlivý na vruby je vhodné použít jako povrchovou úpravu například balatinování. [2]



Obr 4.1 Silniční titanový rám značky Litespeed [16]

5 Závěr

Tato práce je zaměřena na svařování rámu jízdního kola. Z toho důvodu jsem v ní zachytil rozdělení kol do několika kategorií, z kterých vyplývají nároky na vlastnosti a tvar jejich rámu. Při volbě materiálu pro stavbu kola je cílem získat rám s velkou pevností a dobrou životností, který bude co možná nejlehčí. Z tohoto pohledu je titanová slitina pro výrobu rámu ideální. Má dobrý poměr pevnosti a hmotnosti, je korozivzdorná, pružná a má vysokou odolnost proti únavovému lom. Nevýhodou bránící její rozšíření je její vysoká cena a také velká obliba dnes módního karbonu.

Svařit titan je v dnešní době již poměrně snadné. Je však nutné dbát zvýšené pozornosti při ochraně svaru a tepelně ovlivněné oblasti kvůli afinitě titanu k ostatním prvkům. Pokud se do svaru dostanou nečistoty, stává se svar velice křehkým.

Rámy jízdních kol vyrobené ze slitin titanu se podle mého názoru nikdy nerozšíří v takové míře jako hliníkové nebo karbonové rámy. Naopak si budou zachovávat prestižní pozici u některých nejvyšších modelů kol a u kol stavěných na zakázku.

6 Použité zdroje

- [1] Bicycle frame. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 12 March 2003, last modified on 14 May 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_frame>.
- [2] NOVÁK, Jaroslav. Malá lekce (kovového) Materialismu. Velo. 2010, XIII, 3, s. 32-40. ISSN 1213-113X.
- [3] Calfee Design [online]. [cit. 2010-05-26]. What makes a bike handle beautifully. Dostupné z WWW: <<http://www.calfeedesign.com/frontendterms.htm>>.
- [4] Bicycle and motorcycle geometry. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 11 December 2006, last modified on 14 March 2010 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_and_motorcycle_geometry>.
- [5] Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava : "Zeross", 2001. Titan, s. 241-244. ISBN 80-85771-85-3
- [6] ČABELKA, Jozef. Zvariteľnosť kovov a Zliatin. Bratislava : Veda, 1977. Zvariteľnosť titánu a jeho zliatin, s. 427-437. 1197/I-1973.
- [7] Welding titanium. In Obrábění [online]. [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://www.bibus.cz/cz/pdf/special_metals/titanium-machining.pdf>.
- [8] KUBÍČEK, Jaroslav Technologie II část svařování : Díl 1 Základní metody tavného svařování. Brno : Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2006.
- [9] Tig welding. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19 June 2005, last modified on 19 June 2005 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tig_welding>.
- [10] http://www.trekbikes.com/images/bikes/2010/xl/madone69_blackwhite.jpg
- [11] http://www.scott-sports.com/us_en/product/9059/44689/spark_rc
- [12] <http://www.author.cz/kola/katalog/&cid=4820>
- [13] <http://www.electra-breizh.fr/viva%20bike/viva%202010/viva%20jpg/2010juliettHD03.jpg>
- [14] <http://www.gurubikes.com/enEU/tech-focus/holistic/power-transfer.php>
- [15] <http://www.bibus.cz/cz/?pg=vypis-produktu&id=276>
- [16] <http://www.realcyclist.com/roadbike/Litespeed-Xicon-Frameset/>

7 Seznam obrázků a tabulek

7.1 Seznam obrázků

Obr. 1.1.1 Popis Rámu kola	15
Obr. 1.2.1.1 Závodní silniční kolo Trek Madone 6.9 [10]	16
Obr. 1.2.2.1 Závodní horské kolo Scott Spark RC [11]	17
Obr. 1.2.3.1 Trekingové kolo Author Advent [12]	17
Obr. 1.2.4.1 Městské kolo Viva Juliett [13]	18
Obr. 1.3.1 Porovnání meze pevnosti a modulu prožnosti jednotlivých materiálů [2]	20
Obr. 1.3.2 poměry pevnosti a hmotnosti jednotlivých materiálů [2]	20
Obr. 1.4.1 Geometrie kola	21
Obr. 1.5.1 Výpočet napětí metodou konečných prvků [14]	22
Obr. 3.1. Svařovací hořák s netavicí se elektrodou [8]	26
Obr 4.1 Silniční titanový rám značky Litespeed [16]	30

7.2 Seznam tabulek

Tab. 1.3.1 Vlastnosti jednotlivých materiálů	20
Tab. 2.4.1 Mechanické vlastnosti slitin titanu za pokojové teploty [15]	24
Tab. 2.4.2 Obsahy legujících prvků v hmotnostních % [15]	25
Tab. 3.7.1 Parametry pro svařování titanu metodou TIG [7]	29