E-ISSN: 2676-6787 | P-ISSN: 2476-583X

Journal of
Welding Science and Technology of Iran
jwsti.iut.ac.ir

Volume 7, Number 2, 2022



Welding of titanium base alloys by tungsten-gas pulse arc process and investigation of frequency effect on microstructure and mechanical properties

Gh. Eslami Varnamkhasti, S. M. Rafiaei*
Materials Engineering Group, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan, Iran

Received 20 August 2021 ; Accepted 5 November 2021

Abstract

In this research, Ti-6Al-4V alloy sheet with a thickness of one millimeter with butt joint design was welded by tungsten-gas arc welding process using pulse current (PCGTAW) and using AMS 4954G filler metal. In this study, the effect of pulse system frequency on microstructure and mechanical properties was investigated by optical microscopy, Vickers hardness and tensile strength tests. In the non-frequency welding sample, due to the lack of pulse current and lower cooling rate of the molten pool, the formation of large amounts of soft phases of the Weidmann-Statten layer in the weld metal region is possible. Finally, in this method, the lowest average hardness of 341 Vickers was obtained. The experimental results showed that using pulsed current and increasing the pulse frequency up to 450 Hz increased the cooling rate of the molten pool, followed by increasing the amount of martensitic phase α 'in the form of a basket in the weld metal region and finally increasing the average microhardness in this region. In other words, using the maximum frequency led to a significant increase in hardness up to 367 Vickers in the weld zone. Finally, using the tensile strength test, it was shown that in all the samples, failure occurred from the base metal area, which was a very good phenomenon due to the proper welding quality of the samples.

Keywords: Ti_6Al_4V alloy, Tungsten-gas arc welding (GTAW), Frequency, Pulse current system.

Corresponding Author: s.rafiaei@iut.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]

شاپا: 2476-583X | شاپا الکترونیکی: 2676-6787

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران

jwsti.iut.ac.ir

سال هفتم، شماره2، پاییز و زمستان 1400



جوشکاری آلیاژهای پایه تیتانیومی توسط فرایند قوسی پالسی تنگستن-گاز و بررسی اثر فرکانس بر ریزساختار و خواص مکانیکی

غلامحسین اسلامی ورنامخواستی، سیدمهدی رفیعائی *

گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان.

دریافت مقاله: 1400/05/29؛ پذیرش مقاله: 1400/08/14

چکیده

دراین تحقیق ورق آلیاژیTi-6Al-4V با ضخامت یک میلی‌متر با طرح اتصال لب به لب توسط فرایند جوشکاری قوس تنگستن-گاز با بهره‌گیری از جریان پالسی (PCGTAW) و با استفاده از فلز پرکننده AMS 4954G جوشکاری شد. در این پژوهش، بررسی اثر فرکانس سیستم پالس بر ریزساختار و خواص مکانیکی با استفاده از میکروسکوپ نوری و آزمون‌های سختی سنجی ویکرز و کشش انجام گرفت. در نمونه جوش بدون فرکانس به‌دلیل عدم استفاده از جریان پالس و نرخ سرد شدن کمتر حوضچه مذاب، تشکیل مقادیر زیادی فازهای نرم لایه‌ای ویدمن اشتاتن در منطقه فلز جوش میسر می‌گردد. در نهایت در این روش کمترین میانگین سختی برابر 341 ویکرز حاصل شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بکارگیری جریان پالسی و افزایش فرکانس پالس تا 450 هرتز باعث افزایش نرخ سرد شدن حوضچه مذاب و به دنبال آن افزایش مقدار فاز مارتنزیتی α' به‌صورت سبدی شکل در ناحیه فلزجوش و در نهایت افزایش میانگین ریزسختی در این ناحیه می‌گردد. به بیان دیگر استفاده از بیشینه فرکانس منجر به افزایش قابل توجه میزان سختی تا 367 ویکرز در ناحیه فلزجوش شد. در نهایت نیز با استفاده از آزمون کشش نشان داده شد که در همه نمونه‌ها شکست از ناحیه فلز پایه رخ داده که این پدیده به دلیل کیفیت جوش بسیار مناسب نمونه‌ها بوده است.

کلمات کلیدی: آلیاژ Ti_6Al_4V، جوشکاری قوس تنگستن - گاز (GTAW)، فرکانس، سیستم جریان پالسی.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: s.rafiaei@iut.ac.ir

1- مقدمه

نسبت استحکام به وزن بالا، چگالی نسبتاً پایین و مقاومت به خوردگی از جمله خواص مهم تیتانیوم می‌باشند. صنایع مختلف، از جمله حوزه پیشرفته صنعت موتورهای هوایی، صنعت خودرو، موجب پیدایش انواع گسترده‌ای از آلیاژهای پایه تیتانیوم با جذابیت‌های بالای صنعتی شده است[1-2]. این آلیاژ را می‌توان با فرایندهای مختلف جوشکاری کرد که فرایند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز یکی از مهم‌ترین ومتداول‌ترین آن‌ها است[3-5]. هرچند قابلیت جوشکاری آن به دلیل تشکیل فاز مارتنزیت سوزنی سخت و اندازه بزرگ فاز بتای اولیه در منطقه فلزجوش که منجر به کاهش شکل پذیری می‌شود، محدود شده است اما با اعمال جریان پالسی این محدودیت تا حد زیادی بهبود یافته است [6-8]. بررسی مراجع نشان دهنده آن‌است‌که تحقیقات زیادی در رابطه با استفاده از سیستم‌های پالسی برای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]

انجام فرایندهای جوشکاری و تقویت خواص نهایی انجام شده است [9-11]. افزایش فرکانس سبب ایجاد ارتعاش و تلاطم در حوضچه مذاب شده و می‌تواند باعث پالایش ریزساختار و بهبود خواص مکانیکی و کاهش عیوب جوش گردد. همچنین با استفاده از جریان پالسی گرمای ورودی (H.I) به منطقه جوش که از رابطه زیر قابل تخمین است کاهش می‌یابد:

$$H.I=\frac{\mu.I.U}{V}$$

در معادله فوق μ راندمان حرارتی، I شدت جریان متوسط برحسب آمپر، U ولتاژ برحسب ولت و V سرعت جوشکاری برحسب میلی‌متر بر ثانیه است. همچنین شدت جریان متوسط از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$I=\frac{(Ip.tp+Ib.tb)}{(tp+tb)}$$

در معادله فوق I_p و I_b به ترتیب شدت جریان‌های بیشینه و زمینه (برحسب آمپر) بوده و t_p و t_b به ترتیب برابر زمان‌های صرف شده در جریان‌های بیشینه و زمینه (برحسب ثانیه) هستند. با کاهش گرمای ورودی فرصت کمتری برای رشد دانه‌ها وجود داشته و خواص مکانیکی نهایی بهبود می‌یابد. یانگ و همکاران [7] در سال 2013، با بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ Ti-6Al-4Vتوسط فرایند جوشکاری قوس تنگستن-گاز با بهره‌گیری از جریان پالسی با فرکانس بسیار بالا UHFP GTAW نشان دادند که نفوذبیشتر، اندازه دانه ریزتر و بافت سبدی شکل بیشتری نسبت به فرایند تیگ معمولی حاصل می‌شود. ضمنا به خدمت گیری روش پالسی انعطاف پذیری و درصد کاهش سطح مقطع بیشتری همبرای نمونه‌ها به همراه دارد. به طور کلی اگرچه بکارگیری سیستم پالسی هزینه‌های بالاتری را نسبت به سیستم‌های غیرپالسی تحمیل می‌نماید اما خواص ریزساختاری و مکانیکی بسیار بالاتری که به ارمغان می‌آورد به شدت مورد توجه محققان جوشکاری قرار گرفته است. رحیمی و همکاران [13]، اثر نسبت جریان‌های بیشینه وکمینه سیستم جریان پالس فرایند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز را بر ریزساختار فلزجوش آلیاژ Ti-6Al-4V بررسی کردند و دریافتند که جریان بیشینه بالا سبب ایجاد حرارت ورودی بالا و نرخ سرد شدن کم حوضچه مذاب می‌شود که این امر سبب افزایش فاز نرم لایه‌ای α در منطقه فلزجوش با سختی پایین می‌گردد. در این تحقیق برای اولین بار مقادیر مقادیر فرکانسی 50، 250 و 400 هرتز طی فرایند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز بر روی ورق‌هایی از آلیاژ Ti-6Al-4V که مشخصات آن در ادامه آمده اعمال و نهایتا ریزساختار جوش و نواحی متاثر از جوش و همچنین خواص مکانیکی قطعات جوشکاری شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. ضمنا نسبت جریان بهینه ($I_p / I_b = 50\%$)، سبب تولید مقادیر بیشتری از فازهای مارتنزیتی ریز سبدی شکل α' می‌گردد که در نهایت منجر به بیشترین استحکام و سختی درمیان نمونه‌هامی‌شود. نمونه‌های جوشکاری شده به وسیله این فرایند، تنش‌های استحاله‌ای کمتری را تجربه می‌کنند که این امر سبب شکستی نرم به همراه چقرمگی بالا می‌گردد.

2- مواد و روش تحقیق

2-1- مواد مصرفی

در این پژوهش جهت تهیه نمونه‌های جوش از ورق تیتانیومی ازجنس آلیاژTi-6Al-4V (مطابق استاندارد AMS4911L معادل MIL-T-9046J) درحالت آنیل به ضخامت1 mm معادل 0/039 in و فلزپرکننده (مطابق استانداردAMS 4954G)استفاده‌شد. ترکیب شیمیایی این آلیاژ درجدول(1) با درصد وزنی استاندارد مقایسه شده است. ساختارمیکروسکوپی این آلیاژ در شرایط آنیل حاوی دانه‌های هم محورα و به همراه مقدارکمی β بین دانه‌ای است. همچنین در این جدول ترکیب شیمیایی فلزپرکننده با درصد وزنی استاندارد آن مقایسه شده است.

از ورق Ti-6Al-4V نمونه‌هایی با ابعاد (1×65 ×150) میلی‌متر به تعداد 8 عدد به طور عمود بر جهت نورد توسط دستگاه گیوتین بریده شد. جهت انجام این پژوهش نمونه‌هایA,B,C,D تهیه گردید و مطابق جدول(2)، نمونه A بدون فرکانس و با جریان ثابت 30 آمپر و نمونه‌های D,C,B به ترتیب با فرکانس50 هرتز و 250هرتز و 450 هرتز جوشکاری شدند با توجه به ضخامت، جنس مواد و طرح اتصال‌های پیشنهادی منابع، از طرح اتصال لب به لب بدون فاصله استفاده شد. ضمنا

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]

جدول 1- ترکیب شیمیایی آلیاژ و فلزپرکننده Ti-6Al-4V

نوع عنصر	Al	V	Fe	C	N	O	H	Ti
درصد وزنی آلیاژ مطابق استاندارد	۶/۷۵ ۵/۵۰	۴/۵۰ ۳/۵۰	۰/۳۰ –	۰/۰۸ –	۰/۰۵ –	۰/۲۰ –	۰/۰۱۵ –	بقیه
درصد وزنی کوانتومتری آلیاژ	۶/۱	۴/۲	۰/۰۷	۰/۰۴	–	–	–	بقیه
درصد وزنی فلز پرکننده مطابق استاندارد	۶/۷۵ ۵/۵۰	۴/۵۰ ۳/۵۰	۰/۳۰ –	۰/۰۵ –	۰/۰۳ –	۰/۱۸ –	۰/۰۱۵ –	بقیه
درصد وزنی کوانتومتری فلز پرکننده	۶/۱	۴/۳	۰/۰۵	۰/۰۳	–	–	–	بقیه

جدول2-نمونه‌ها و پارامترهای فرایند قوسی تنگستن-گاز

کد نمونه	(I_B) آمپر	(I_p) آمپر	زمان قطع-وصل (ثانیه)	فرکانس (Hz)	سرعت جوشکاری (mm/s)
A	۳۰	۳۰	۰/۲	–	۰/۶۷
B	۲۰	۴۰	۰/۲	۵۰	۰/۶۷
C	۲۰	۴۰	۰/۲	۲۵۰	۰/۶۷
D	۲۰	۴۰	۰/۲	۴۵۰	۰/۶۷

برای تمامی نمونه‌ها با سیستم جریان پالس، مدت زمان جریان بیشینه و کمینه برابر 0/2 ثانیه لحاظ گردید.

جهت تمیزکاری فلزپایه قبل از جوشکاری، نمونه‌ها توسط متیل-اتیل-کتون چربی‌زدایی شدند و سپس با آب شستشو شدند. در ادامه جهت حذف لایه اکسید سطحی، نمونه‌ها در محلولی از اسید نیتریک و اسید فلوئوریدریک تحت عملیات اسیدشویی قرارگرفتند. لازم به ذکر است، فرایند جوشکاری بدون انجام پیشگرم و در دمای محیط انجام گرفت. در این فرایند جهت تأمین اتمسفر خنثی از گاز آرگون با خلوص 99/999 درصد استفاده شده است و قبل از اعمال قوس و پس ازاتمام قوس جهت تمیزکاری و محافظت ازحوضچه جوش به ترتیب به مدت 5 و 25 ثانیه گاز اعمال شد. جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) به صورت ذوبی با طرح اتصال لب به لب و جوشکاری در یک پاس انجام گرفت. قطبیت مورد استفاده از نوع جریان پالسی الکترود منفی یا PDCEN و الکترود تنگستنی ازنوع محتوی دو درصد اکسید توریم (ته قرمز) و با قطر 1/6 mm و زاویه رأس 45-40 درجه انتخاب گردید. در این تحقیق، طی فرایند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز از کالت بادی توری 1/6 میلی‌متر به دلیل شکست دبی گاز و توزیع یکنواخت گاز برای جوشکاری‌تیتانیوم که بسیار مؤثر بوده، استفاده شد.

2-2- مشخصه‌یابی نمونه‌ها

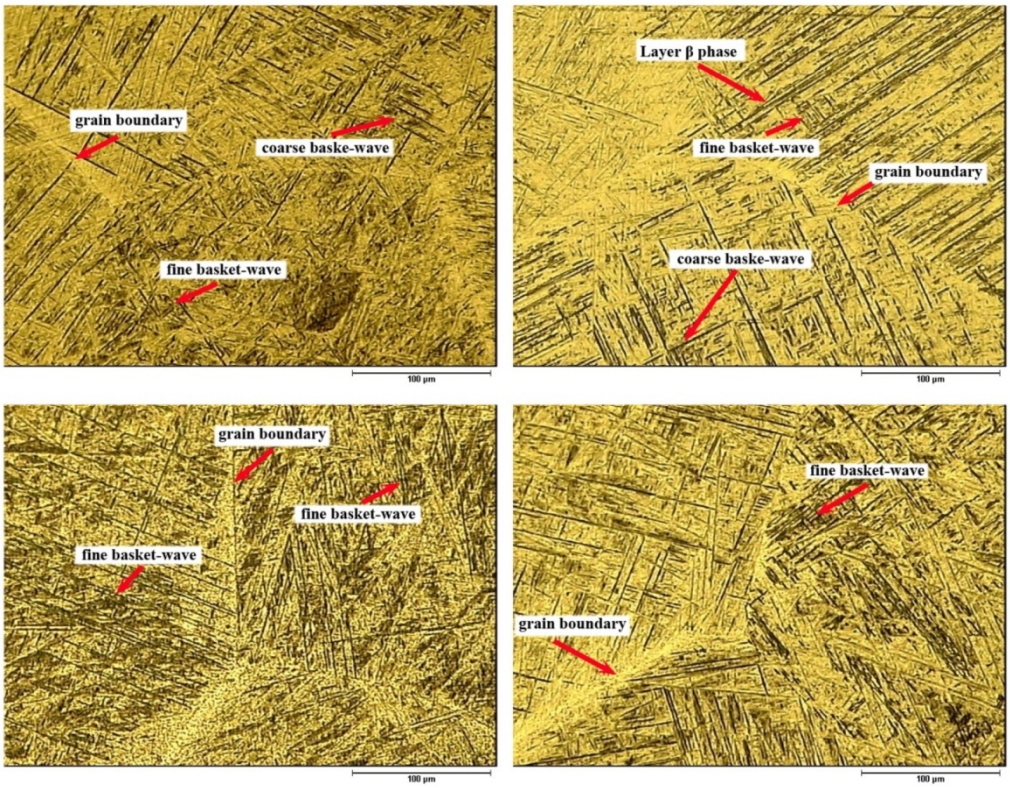
به‌منظور مطالعه ریزساختار منطقه جوش، منطقه متاثر از حرارت و فلز پایه پس از انجام مراحل مربوط به آماده سازی سطح، از میکروسکوپ نوری MEC10420 با بزرگنمایی‌های 50 تا 500 برابر استفاده شد. جهت اندازه‌گیری و بررسی سختی نمونه‌ها از روش ویکرز با نیروی 300 گرم استفاده گردید به گونه‌ای که اندازه‌گیری‌های مقادیر سختی در فواصل 500 میکرومتر طبق استاندارد ASTM E384-17 انجام شد.آزمون کشش براساس استاندارد ASTM E8,A370 به وسیله دستگاه کشش INSTRON و با **نرخ اعمال نیروی** 1 mm/min انجام **گرفت**. برای انجام این آزمون، نمونه‌ها به صورت عرضی و عمود از ناحیه جوش به طول 10 وعرض 1 سانتی‌متر تهیه شدند.

3- نتایج و بحث

مطابق با جدول (3)، عرض جوش نمونه‌های جوشکاری با افزایش فرکانس کاهش یافته است و این نشان‌دهنده اثر فرکانس بر پهنای جوش است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که باتوجه به تغییرات جریان در فرکانس منظم جوش، فرایند جوشکاری قوس

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]



شکل1- ریزساختار فلزجوش نمونه‌ها، الف- نمونه A بدون پالس، ب- نمونهB با فرکانس 50 هرتز، ج- نمونه C با فرکانس 250 هرتز، د- نمونه D با فرکانس 450 هرتز

تنگستن-گاز با سیستم جریان پالسی کنترل بهتری درخواص مکانیکی دارد که جـریان پیک، نفوذ مناسب، جریـان زمینه و قوس پایدار را سبب می‌شود.

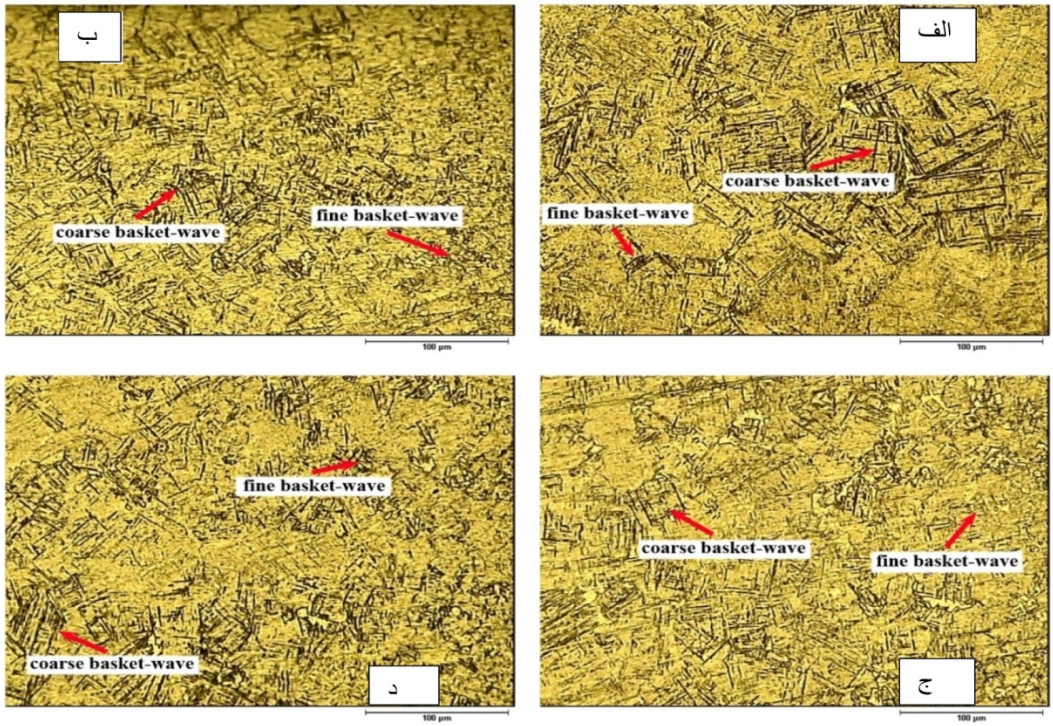
جدول 3- عرض جوش نمونه‌ها در مقادیر مختلف فرکانسی.

کد نمونه	عرض جوش(mm)
A	۹/۱
B	۷/۹
C	۶/۳
D	۵/۲

در حالت جوشکاری بدون پالس به دلیل حرارت ورودی بیشتر، منطقه متاثر از حرارت بیشتر شده و عرض ناحیه جوش افزایش می‌یابد. اما در حالت جوشکاری پالسی میزان حرارت ورودی کاهش یافته و با افزایش فرکانس، ارتعاش منطقه جوش بیشتر و دانه‌ها ریزتر و عرض ناحیه جوش کاهش می‌یابد. باتوجه به شکل (1-الف)، در ریزساختار نمونه A با جریان جوش ثابت و بدون فرکانس می‌توان مقادیر زیادی فازα لایه‌ای درکنار فـاز β لایه‌ای [13-14] (ویدمن اشتاتن) به همراه مقادیری فاز مارتنزیتیα' به صورت سبدی-موجی شکل درشت مشاهده نمود. همچنین در قسمت 1 (ب) مربوط به نمونه B با سیستم جریان پالس و فرکانس 50 هرتز، فازهای لایه‌ای ویدمن اشتاتن ظریف و فاز مارتنزیتی سبدی شکل [10و11] ظریف با تراکم بیشتر تشکیل می‌شود.

با افزایش فرکانس جوش در نمونه‌های C و D (250 و 450 هرتز) فاز مارتنزیتی سبدی شکل ریزتر و تراکم آن بیشتر می‌شود و از مقدار فازهای لایه‌ای ویدمن اشتاتن کاسته می‌شود، به گونه‌ای که نمونه D را عمدتاً فاز مارتنزیتیα' با شاخه‌های کوتاه به‌صورت سبدی شکل تشکیل می‌دهد (شکل1-د) که این ساختار باعث افزایش سختی و استحکام نمونه نسبت به سایر نمونه‌های جوشکاری می‌گردد. به بیان دیگر با به خدمت گیری جریان پالسی و افزایش فرکانس فاز ویدمن اشتاتن جای خود را به فاز مارتنزیتی داده و میزان سختی افزایش قابل توجهی خواهد داشت. در تحقیقی مشابه مهـدی و همکـاران [15] دریـافتنـد که افـزایش فرکانـس در جوشکاری قـوس تنگستـن

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]



شکل 2- ریزساختار منطقه متأثر از حرارت نمونه‌ها، الف- نمونه A بدون پالس، ب- نمونه B با فرکانس 50 هرتز، ج- نمونه C با فرکانس 250 هرتز، د- نمونه D با فرکانس 450 هرتز

جدول4- خواص مکانیکی نمونه‌های جوشکاری شده در فرکانس‌های مختلف

ردیف	شماره نمونه	سطح مقطع (mm^2)	استحکام تسلیم(MPa) 0.2% Proof Stress	استحکام نهایی (MPa)	درصد ازدیاد طول نسبی	محل شکست
۱	A	۵/۹۹	۹۴۱	۹۷۴	۱۱	فلز پایه
۲	B	۶/۰۷	۹۳۷	۹۶۴	۱۰	فلز پایه
۳	C	۶/۰۲	۹۳۵	۹۶۷	۱۰	فلز پایه
۴	D	۶/۰۱	۹۲۸	۹۷۰	۱۰	فلز پایه

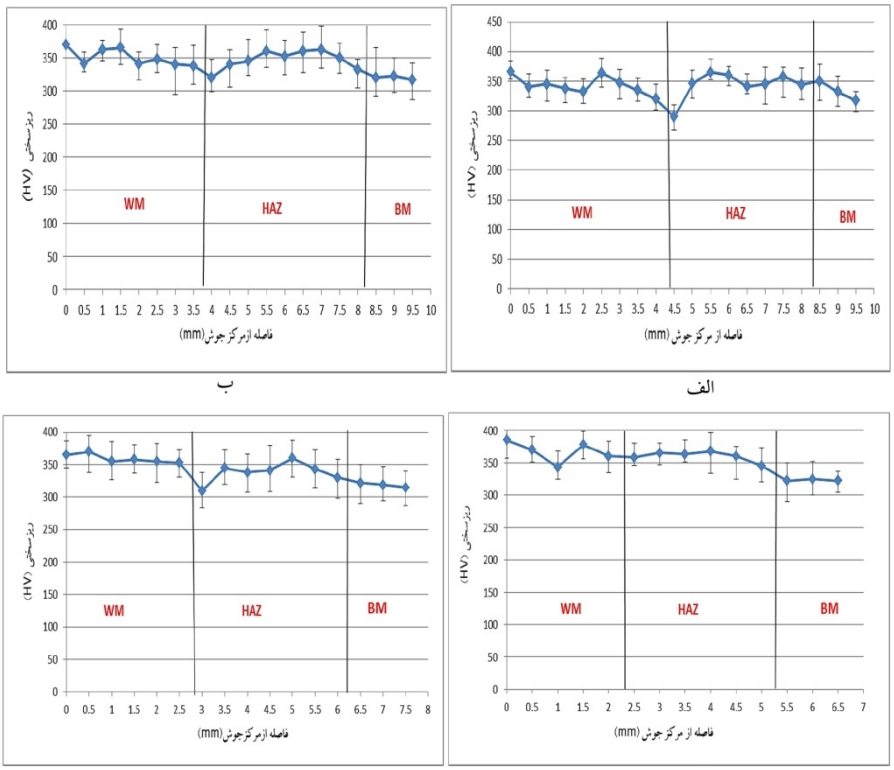
گاز پالسی دانه‌های منطقه جوشTi-6Al-4V را در مقایسه با سیستم جریان بدون پالس، پالایش و ریز می‌کند. با توجه به تصاویر شکل (2)، ریزساختار منطقه متأثر از حرارت همه نمونه‌های جوشکاری عمدتاً از فاز سبدی شکل مارتنزیتی α' تشکیل شدند که برحسب فاصله از فلزجوش به صورت درشت و ریز هستند.

نمونه A به دلیل عدم استفاده از جریان پالس و حرارت ورودی بیشتر (320 J/mm) از ناحیه فلزجوش، دارای فاز سبدی شکل مارتنزیتی α' درشت‌تر است. اما ریزساختارهای فوق به خوبی بیانگر این واقعیت هستند که افزایش فرکانس در حین فرایند جوشکاری منجر به کاهش گرمای ورودی و به دنبال آن کاهش اندازه صفحات مارتنزیتی می‌گردد.

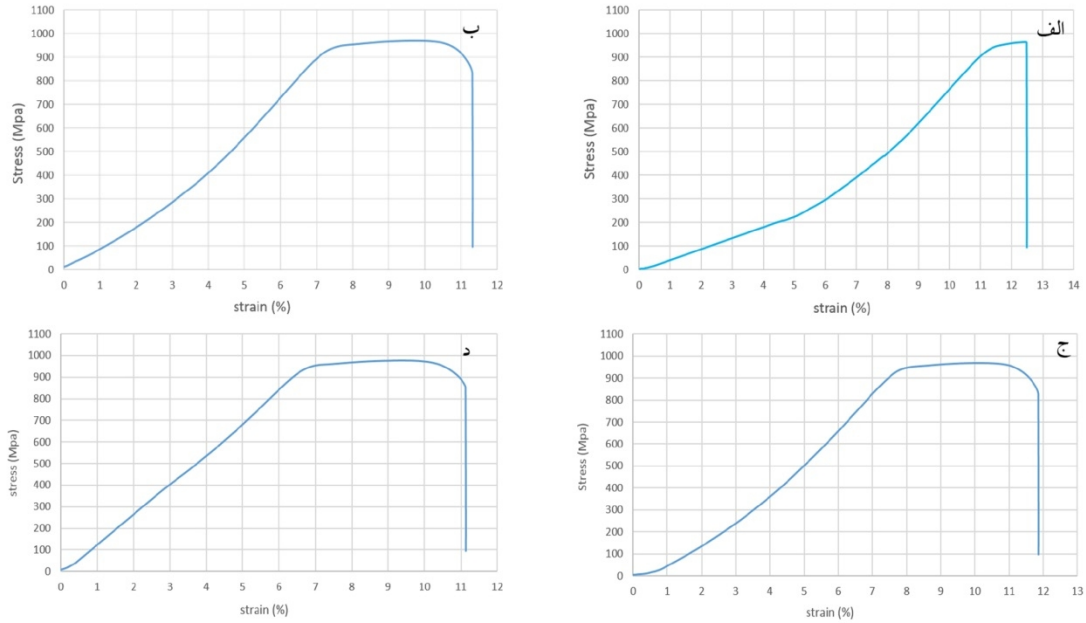
باتوجه به توضیحات ذکر شده در مورد ریزساختار، افزایش فرکانس جوشکاری سبب افزایش مقدار فاز سخت مارتنزیتی سبدی شکل [13] می‌گردد. مطابق شکل (3) دیده می‌شود.نمونه A با داشتن فازهای لایه‌ای نرم ویدمن اشتاتن [13] دارای کمترین میانگین سختی (343 ویکرز) فلزجوش در میان نمونه‌ها است و می‌توان دریافت که افزایش فرکانس جوش باعث شده تا میانگین سختی فلزجوش در نمونه‌های B، C و D به ترتیب به 351، 359 و 367 ویکرز افزایش یابد. در واقع نتایج مربوط به سختی سنجی نمونه‌ها، مشابه با آنچه در قسمت مربوط به تحلیل ریزساختار توضیح داده شد، موید این نکته هستند که با به خدمت‌گیری جریان پالسی شانس تشکیل فازهای مارتنزیتی و نهایتا افزایش سختی بیشتر خواهد بود.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]



شکل3- پروفایل‌های سختی نمونه‌های الف- نمونهA بدون پالس، ب- نمونه B با فرکانس 50 هرتز، ج- نمونه C با فرکانس 250 هرتز، د- نمونهD با فرکانس 450 هرتز



شکل4- تغییرات تنش-کرنش نمونه‌ها الف- نمونهA بدون پالس، ب- نمونهB با فرکانس 50 هرتز، ج- نمونه C با فرکانس 250 هرتز، د- نمونه D با فرکانس 450 هرتز

برای ارزیابی استحکام نمونه‌ها، آزمون کشش به‌صورت عرضی از ناحیه جوش تهیه گردید که شامل نواحی فلزجوش، متأثر از حرارت و فلزپایه هستند. نتایج حاصل از این آنالیز در شرایط اعمال شده استحکام جوش بدست آمده بسیار بالاتر از فلزپایه بوده و از کیفیت نسبی قابل توجهی برخوردار است. لذا نتایج تقریباً مشابهی از لحاظ استحکام کشش و درصد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]

ازدیاد طول برای همه نمونه‌ها بدست آمده است. نتایج فوق نشان می‌دهد که برای نمونه‌های جوشکاری شده استحکام کششی نهایی در محدوده 964 تا 974 مگاپاسکال و درصد ازدیاد طول در محدوده تقریبی10% تا 11% بدست آمده است.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر فرکانس سیستم جریان پالس فرایند جوشکاری قوس تنگستن-گاز بر ریزساختار وخواص مکانیکی اتصال مشابه آلیاژ Ti-6Al-4V بررسی شد. در نمونه جوش بدون اعمال پالس، نرخ سرد شدن کمتر حوضچه مذاب باعث تشکیل مقادیر زیادی فازهای نرم لایه‌ای ویدمن اشتاتن در منطقه فلزجوش می‌گردد. نتایج ریزساختار نمونه‌های جوش نشان داد که افزایش فرکانس پالس باعث افزایش نرخ سرد شدن حوضچه مذاب می‌شود. این امر سبب افزایش مقدار فاز مارتنزیتی α' به صورت سبدی شکل در ناحیه فلزجوش و در نهایت منجر به افزایش میانگین ریزسختی سختی تا 367 ویکرز می‌گردد. همچنین نتایج آزمون کشش نشان دادند که همه نمونه‌ها به دلیل کیفیت جوش بسیار مناسب، از ناحیه فلزپایه دچار شکست شدند.

منابع

1- C. Leyens, M. Peters, "Titanium and Titanium Alloys Fundamentals and applications", Wiley-VCH Velag GmbH & Co., 2003.

2- I.J. Polmear, "Titanium alloys in Light Alloys , Fourth Edition, Butterworth-Heinemann: Oxford, 66, 2005.

3- F.T. Khaniverdi, M. Karimi Nouri, M.Balbasi, "Influence of welding parameters on penetration depth and depth-to-width ratio of Ti-6Al-4V alloy TIG", Proceedings of the first National Conference on Mechanical Engineering of Iran, Shiraz, Iran, 2014.

4-T. Otani, Titanium Welding Technology, "Nippon Steel Technical Report", 2007, Vol. 95, 88-92, 2007.

5-S. Cui, Y. Shi, T. Zhu, W. Liu, "Microstructure, texture, and mechanical properties of Ti-6Al-4V joints by K-TIG welding", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 37, 418-424, 2019.

6- A. Kumar, M. Sapp, J. Vincelli, M.C. Gupta, "A study on laser cleaning and Pulsed Gas Tungsten Arc Welding of Ti-3Al-2.5V alloy Tubes", J. Mater. Process. Tech., Vol. 210, 64–71, 2010.

7-S.I. Rokhlin, A.C. Guu, "A study of arc force, pool depression, and weld penetration during gas tungsten arc welding", Welding Journal, Vol.72, 381−390**,** 1993.

8-R.P. Simpson, "Controlled weld-pool solidification structure and resultant properties with yttrium inoculation of Ti-6Al-6V-2Sn welds", Welding Journal,Vol.56, 67−77, 1977.

9-C. Chen, N. Lv, S. Chen, "Welding penetration monitoring for pulsed GTAW using visual sensor based on AAM and random forests", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 63, 152-162, 2021.

10- R. Jiang, R. Xiao, S. Chen, "Prediction of penetration based on infrared thermal and visual images during pulsed GTAW process", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 69, 261-272, 2021.

11-S. Bose, S. Das,"Experimental Investigation on Bead-on-Plate Welding and Cladding using Pulsed GTAW Process", Indian Welding Journal Vol. 54, 64-76, 2021.

12-G. Razavi, "Investigation of enhancing surface hardness in Ti-6Al-4V alloy by TIG welding", proceeding of 2011 International conference on Advanced Materials Engineering, 2011.

13- A. Rahimi, M. Shamanian, "The PC-GTAW of Ti–6Al–4V Thin Sheets and Its Effects on Mechanical and Microstructural Properties, Metallography", Microstructure and Analysis, 8, 871-879, 2019.

14- A. Rahimi, M. Shamanian, "A comparative study on direct and pulsed current micro-plasma arc welding of Alloy Ti–6Al–4V", Transactions of the Indian Institute of Metals, 71(12), 3103-3110, 2018.

15- B. Mehdi, R. Badji, V. Ji, B. Allili, D. Bradai, F. Deschaux-Beaume, F. Soulié, "Microstructure and residual stresses in Ti–6Al–4V alloy pulsed and unpulsed TIG welds". J. Mater. Process.Technol. 231, 441–448, 2016.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.2.6.9]