ACKNOWLEDGEMENT

I wish to express my sincere gratitude and great appreciation to my supervisor ***Assistant Prof. Adel K. Mahmoud*** for his supervision, encouragement and valuable comments which have been very helpful to me.

My sincere gratitude and great appreciation to the team of the experimental part of the present work: Professor of material creation, ***Prof. Sadrnezhaad***, co-supervisor**,** Sharif University of Technology (SUT)- Iran, Visiting Professor (MIT)-USA; Professor of welding, ***Prof. Kokabi***, SUT; ***Dr. M.J.Torkamany***, Specialist of laser welding, Iranian National Center for Laser Science & Technology (INLC) and Mr. ***Nasoodi,*** microstructure observation laboratory, SUT.

My sincere gratitude and great appreciation to ***Prof. Abdul Hadi*** **Al-*Janabi***, Dean of Institute of Laser for Postgraduate Studies, University of Baghdad, for supporting and facilitating the paper work of my six months research visit.

My sincere gratitude and great appreciation to ***Prof. Hussein Ali Jawad***, as well as to all the staff of the institute for support and guidance during the research period.

I would like to express my sincere gratitude to the Iraqi ***Ministry of Higher Education and Scientific Research*** for offering the six months research mission in Sharif University of Technology SUT- Iran

Finally no wards can be said to my family for their love, patience, understanding and unconditional supporting accomplishing this tough journey of learning.

Abeer

ABSTRACT

Materials titanium and aluminum are of technological interest in automotive, aerospace and smart sensor industries. The challenges for welding them result from the large difference in thermophysical and mechanical properties, besides limited solubility of each metal in other. Thus welding them using laser, will reduce intermetallic phases (IMP) formation to acceptable limits, since the weld itself is narrow.

In the present work a special form of laser spot welding is introduced to joint overlapped titanium Ti Grade 2 to 3105-O aluminum alloy, with 1 and 0.5 mm thicknesses respectively. A welding tactile seam tracking design using following pulses that result to a circular seam, leads to spot like shape laser welding. For this study, laser welding parameters were: pulse energy 11 J; pulse duration 6ms; pulse frequency 20Hz; argon gas flow rate 20 l/m and welding speed (4 - 6.7) mm/s.

Welding speed was observed to have the strongest effect on heat input, where 4 mm/s (76% overlapping) speed has led to better energy absorption and wider more uniform melted area at Ti-Al interface, thus 70 MPa joint strength was obtained. Examination of the joint region using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectrometry (EDS) and X-ray diffraction (XRD) showed the formation of different IMP in the Ti-Al welding zone. Ti fusion zone (FZ) near the interface was mainly containing Ti_3Al. Crakes were observed in Al (FZ) near the interface as a result of mechanical and thermo physical properties gradient.

Inorder to reduce IMP formation and relaxes the high gradient in thermophysical and mechanical properties in the welding zone, four fillers metals (Al-5Si, Al-12Si-2.5Mg, pure Nb and Al-0.2Sc-0.36Zr), with three different thicknesses for each filler, were prepared. Al-5Si filler has positive effect on the joint strength where Si has reduced the IMP harmful effect via replacing Al atoms substitutionaly in $TiAl_3$ at the interface, thus joint

strength was increased to 80MPa instead of 70MPa. Al-12Si-2.5Mg filler has improved the joint strength to 87MPa where the shear strength of Al base metal of 82MPa was exceeded. Due to its high melting point pure Nb filler prevented penetration of bottom Al sheet, thus it was unsuitable to use for the present work conditions. A new Al-0.2Sc-0.36Zr filler was used for the first time in the present work and has very positive impact to the joint strength 103MPa, where the joint has fractured from Al base metal.

In comparison to the corrosion rate of Ti base metal, joints without using filler and with the new Al-0.2Sc-0.36Zr filler metal, have decreased the corrosion rate by 51% and 72% respectively, while joints with Al-5Si and Al-12Si-2.5Mg filler metals, have increased the corrosion rate by 68% and 80% respectively.

الخلاصة

التيتانيوم والالمنيوم مواد تلقى اهتمام تقني في الصناعات الالية والفضائية والمتحسس الذكي.التحديات التي تواجه لحامهم هي نتيجة للاختلاف الكبير في المواصفات الثرموفيزيائية والميكانيكية، اضافة الى الذوبانية المحدودة لكل معدن في الاخر،لذلك لحامهم باستعمال الليزرسيقلل تكوين الا طوار المعدنية الضارة لما كانت منطقة اللحام نفسها ضيقة .

في هذا العمل قدم شكل خاص من اللحام الليزري النقطي لربط تيتانيوم رتبة ٢ تراكبيا مع سبيكة المنيوم 3105-O باسماك ١,٠.٥ ملم على التوالي، من خلال لحام درز دائري، لبق التصميم يستعمل نبضات ليزر متعاقبة ادت الى لحام شبيه للحام الليزري النقطي .لهذه الدراسة كانت معاملات لحام الليزر كالاتي: طاقة النبضة ١١جول، مدة النبضة ٦ ملي ثانية، تردد النبض ٢٠هرتز،تدفق غاز الاركون ٢٠ لتر/دقيقة وسرعة اللحام (٤-٦٧.٦) ملم/ثانية.

لقد لوحظ ان تأثيرسرعة اللحام كان الاقوى على الحرارة الداخلة لمنطقة اللحام حيث سرعة لحام ٤ ملم /ثا (٧٦%عامل تداخل النبضات)، قد ادت الى افضل امتصاص لطاقة الليزر واكثر تجانس وعرض للمساحة المنصهرة عند منطقة تداخل Ti-Al, لذلك تم الحصول على ٧٠MPa مقاومة وصلة اللحام. اظهر فحص منطقة وصلة اللحام باستخدام المجهر الماسح الالكتروني SEM،

مقياس تشتت طاقة الاشعة السينية EDS ومقياس انحراف الاشعة السينية XRD, تكون الا طوار المعدنية الضارة. المنطقة المنصهرة للتيتانيوم قرب منطقة تداخل Ti-Al ضمت طور Ti_3Al.
الشقوق لوحظت في منطقة الالمنيوم المنصهرة قرب منطقة التداخلTi-Al, نتيجة الانحدار العالي في الخواص الميكانيكية والثرموفيزيائية.

من اجل التقليل من تكون الا طوار المعدنية الضارة وتخفيف الانحدار العالي في الخواص . الثرموفيزيائية والميكانيكية، اربعة انواع مختلفة من الحشوات المعدنية

(Al-5Si, Al-12Si-2.5Mg, pure Nb and Al-0.2Sc-0.36Zr)

مع ثلاثة اسماك مختلفة لكل حشوة قد حضرت في هذا العمل. حشوة Al-5Si كان لها تاثير ايجابي على مقاومة وصلة اللحام حيث ان Si قلل التاثير الضار للاطوار المعدنية الضارة من خلال تعويض ذرات Al في Ti_3Al لذلك فان مقاومة الوصلةزادت الىMPa80 بدل MPa70.حشوة Al-12Si-2.5Mg قد حسنت مقاومة الوصلة الىMPa87 متجاوزة بذلك مقاومة القص MPa82 لترابط المعدن الاساس Al. نتيجة درجة االنصهاره العالية، حشوة النيبيوم النقي Nb منعت لحام صفيحة Al السفلى، لذلك هذه الحشوة كانت غيرمناسبة للا ستعمال وفق شروط اللحام لهذا العمل. لقد كان للحشوة الجديدة Al-0.2Sc-0.36Zr التي استعملت لاول مرة من خلال هذا العمل تاثير ايجابي جدا على قوة ترابط وصلة اللحام MPa103 حيث ان الكسر حدث من المعدن الاساس Al وليس من الوصلةخلال عملية الاختبار. بالمقارنة مع مقاومة التاكل لمعدن التيتانيوم الاساس، اظهرت الوصلات بدون استعمال حشوة وباستعمال حشوة Al-0.2Sc-0.36Zr نقصان بمعدل التاكل ب ٥١% و ٧٢% بالتعاقب بينما اظهرت الوصلات باستعمال حشوات Al-5Si,Al-12Si-2.5Mg زيادة بمعدل التاكل ب % ٨٠ و ٦٨% بالتعاقب.

CONTENTS

LIST OF FIGURS

LIST OF TABLES

AWS American welding society

ABBREVIATIONS

LIST OF SYMBOLS

BM		Base metal	
CW		Continues mode of operation (Continues wave)	
EBW		Electron beam welding	
EDS		Energy dispersive spectrometer	
EM		Electromagnetic radiation	
EMPA		Electron microprobe analysis	
EPPD		Effective peak power density	
FZ		Fusion zone	
GMAW		Gas metal arc welding	
GTAW		Gas tungsten arc welding	
HAZ		Heat affected zone	
IMP		Intermetalic phases	
IR		Infrared radiation	
INLC		Iranian national laser center for science and technology	
Nd:YAG		Neodymium-yttrium aluminum garnet	
PAW		Plasma arc welding	
PRR		Pulse repetition rate	
PRT		Pulse repetition time	
R		Reflected energy %	
SAW		Submerge arc welding	
SEM		Scanning electron microscope	
SUT		Sharif university of technology	
T		Energy transmitted %	
TEM_{xx}		Transverse electromagnetic mode	
UV		Ultra-violet	
XRD		X-ray diffraction	
	T	Absolute temperature	K
	T_e	Electron lattice temperature	K

T_o	Ambient temperature	K
P_{av}	Average power	W
P_D	Vapor pressure	Pa
Py	Plasma pressure	Pa
P_{ab}	Ablation pressure	Pa
P_γ	Surface tension pressure	Pa
P_{hs}	hydrostatic pressure	Pa
P_{hd}	Hydrodynamic pressure.	Pa
Ea	Average thermal input per unit area	J/m^2
M^2	Beam quality factor	---
T_b	Boiling temperature	K
k	Boltzmann constant	J/K
T_d	Degradation temperature	K
ρ	Density	Kg/m^3
DC	Duty cycle	---
t_e	Electron cooling time	ps
ε	Emissivity	---
$E_{\lambda b}$	Emitted energy by a blackbody	J
E_λ	Emitted energy by real object	J
k	Extinction coefficient	---
$F^\#$	F number	---
f	Focal length	mm
I	Intensity	W/cm^2
z	Intensity attenuation distance beneath a surface	µm
L_v	Latent heat for vaporization	J/kg
t_l	Lattice heating time	ps
I_o	Maximum intensity	W/cm^2
T_m	Melting temperature	K
N	Number of overlapping spots for one joint spot	n spots

P_p	Peak power	kW
h	Planck constant	J.s
τ	Pulse duration	ms
E_{pulse}	Pulse energy	J
r	Radial distance across the pulse spot	µm
L	Raleigh length	mm
g	Rate of energy per unit time per unit volume	$J/m^3.s$
D	Raw beam diameter	mm
ω_{real}	Real spot size	mm
A_o	Initial area	mm^2
A_f	Final area	mm^2
v	Scanning speed	mm/s
C	Specific heat	KJ/Kg. K
C_e	Electron specific heat	KJ/Kg. K
C_l	Lattice specific heat	KJ/Kg. K
c	Speed of light	m/s
ω	Spot size	mm
PER	Spots overlapping percentage	%
K_B	Stefan-Boltzmann's constant	$J/m^2.K^4$
K	Thermal conductivity	W/m. K
α	Thermal diffusivity	m^2/s