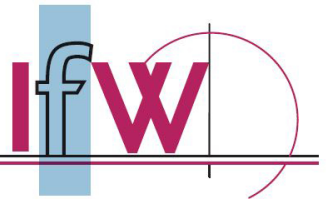




**Technische
Universität
Braunschweig**

Institut für Werkstoffe



Projektarbeit WS 2019/2020

Maximierung der Zugfestigkeit einer Verdichterschaufel aus der Titanlegierung Ti 6Al 2Sn 4Zr

Ziad Ben Hadj Salem

Matrikelnummer 4880262

Thiago Coelho Jordao

Matrikelnummer 4898717

Patrick Hartmann

Matrikelnummer 4880903

Viktor Rein

Matrikelnummer 4808590

Ausgegeben: Institut für Werkstoffe
Institutsleiter: Prof. Dr. Joachim Rösler
Technische Universität Braunschweig

Betreuer: Carsten Siemers
Fabian Haase

Veröffentlichung: Datum

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	ii
1 Experimentelle Methoden	2
1.1 Metallografische Präparation	2
1.1.1 Ofenbehandlung	2
1.1.2 Trennen	2
1.1.3 Einbetten	2
1.1.4 Schleifen/Polieren	2
1.1.5 Ätzen	3
1.2 Mechanische Prüfverfahren	3
1.2.1 Härteprüfung	3
1.2.2 Zugversuch	4
2 Durchführung	5
2.1 α_p -Studie	5
2.2 Martensit-Bildung	5
2.3 Martensit-Zerfall	6
3 Ergebnisse	7
4 Diskussion der Ergebnisse	8
5 Fazit und Ausblick	9

Nomenklatur

Griechische Bezeichnungen

α	Anstellwinkel
γ	Bahnneigungswinkel
η	Trimmwinkel
ϵ_{min}	minimale reziproke Gleitzahl
Λ	Flügelstreckung
κ	Isentropenkoeffizient
ρ	Luftsdichte

Formelzeichen

A	Auftrieb
C_A	Auftriebsbeiwert
C_A^*	Auftriebsbeiwert bei ϵ_{min}
$C_{A\alpha}$	Auftriebsanstieg
C_W	Widerstandsbeiwert
C_{W0}	Nullwiderstandsbeiwert
C_W^*	Widerstandsbeiwert bei ϵ_{min}
G	Gewicht
g	Erdbeschleunigung
H	Flughöhe
k	Widerstandsanstieg
k	k-Faktor
m	Masse
p	Luftdruck
q	Staudruck
R	Gaskonstante
T	Temperatur
t	Zeit
V_{IAS}	angezeigte Fluggeschwindigkeit
V_{TAS}	wahre Fluggeschwindigkeit

V_{opt} Fluggeschwindigkeit beim besten Gleiten

W Widerstand

W_{min} minimaler Widerstand

tbd tbd

Kapitel 1

Experimentelle Methoden

1.1 Metallografische Präparation

1.1.1 Ofenbehandlung

Alle Proben werden unter Normalatmosphäre wärmebehandelt. Da für die mechanischen Eigenschaften

1.1.2 Trennen

Die wärmebehandelten Proben werden in der Mitte mit einer Siliziumkarbid-Scheibe unter ständigem Kühlmittelfluss getrennt (Trennmaschine Jean Wirtz CUTO 20). Durchgehende Kühlung verhindert eine zusätzliche, ungewollte Gefügeveränderung an der Schnittfläche während des Trennvorgangs.

1.1.3 Einbetten

Die getrennten Proben werden in Warmeinbettpressen (Buehler Simplimet Mounting Press 1000/4000) für besseres Handling und Stützung der Randzonen eingebettet. Beim Warmeinbetten wird mit Hilfe von Druck und Temperatur die Probe in ein Kunststoffgranulat eingebettet. Vorteile des Warmeinbettens sind die hohe Härte und Spaltfreiheit des Einbettmaterials. Dabei wird Epomet als erste Schicht im Bereich der Probenoberfläche benutzt und für die oberflächenfernen Bereiche Bakelit, da Epomet eine bessere Spaltfüllung hat. Das Warmeinbetten erfolgte bei $180\text{ deg } C$ und 3 bar . Die fertig eingebetteten Proben werden entgratet und auf der Seite der Probe mit einer Fase versehen.

1.1.4 Schleifen/Polieren

Die Trennfläche der Proben wird in Vorbereitung auf die Ätzung der Oberfläche geschliffen und poliert. Ziel ist eine Oberfläche, die frei von Riefen und Fremdpartikeln ist. Als Schleif-/Poliergerät wurde ein ATM Saphir 550 benutzt. Im ersten Schritt werden die Proben mit steigender Körnung im Gegenlauf geschliffen und dabei wassergekühlt 1.1.

Zwischen jeder Körnung werden die Proben 3 min im Ultraschallbad in einer Seifenlauge gereinigt,

Körnung (FEPA P)	180	240	320	400	600	800	1200	2500
Zeit (min:s)	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00
Anpressdruck	10	10	10	10	10	10	6	6

Tabelle 1.1: Schleifstufen

um größere Schneidkörner und Abrieb nicht zu verschleppen, und die Dauer des Schleifens um 30s verlängert.

Zum Polieren wird eine Wabenscheibe mit destilliertem Wasser und einer Poliersuspension bestehend aus Oxid-Polier-Suspension ($0,05\mu\text{m}$) und Wasserstoffperoxid im Verhältnis 5:1 benetzt. Jede Minute wird Poliersuspension nachgegeben, um eine kontinuierliche Politur zu gewährleisten.

Schritt	Druck [N]	Zeit [min]	Richtung
1	7	5	Gegenlauf
2	5	2	Gleichlauf

Tabelle 1.2: Polierstufen

Die Proben werden nach jedem Schritt 4min in einem Ethanolbad ultraschallgereinigt. Nach Beendigung beider Polierschritte wird die Wabenscheibe mit Spülmittel gesäubert und die Schritte eins und zwei wiederholt. Dieser Prozess wird solange wiederholt bis die Probenoberfläche frei von Riefen und Fremdpartikeln ist. Ist dies der Fall, wird im letzten Schritt die Probenoberfläche mit Spülmittel und anschließend mit Ethanol gereinigt und getrocknet.

1.1.5 Ätzen

Im letzten Schritt der Probenpräparation werden die Oberflächen der Trennfläche geätzt. Die polierte Oberfläche der Proben reflektiert Licht nahezu gleichmäßig, wodurch das Gefüge der Legierung nicht zu erkennen ist. Die Proben werden in einem Ätzmedium nach Kroll 7s geätzt. Martensitische Proben werden länger geätzt, hier 10s.

Destilliertes Wasser	100ml
Salpetersäure (HNO_3)	6ml
Flusssäure (HF)	3ml

Tabelle 1.3: Ätzlösung nach Kroll

1.2 Mechanische Prüfverfahren

1.2.1 Härteprüfung

Die Härte der Proben wurde mit einer Vickers-Prüfung ermittelt. Bei der Vickers-Prüfung wird die Eindringhärte des Materials gegenüber eines Eindringkörpers in Form einer gleichseitigen Diamantpyramide gemessen. Die Diamantpyramide hat einen Öffnungswinkel von 136° zwischen den Seitenflächen und wird mit 10kg (98,1N) statischem Druck 15s lang in die Probe gedrückt. Die Längen der Diagonalen d_1 und d_2 des dabei entstehenden Eindrucks werden mittels einer optischen Messeinheit vermessen. Daraus lässt sich aus

$$HV = \frac{2 * 0,102 * F * \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d^2} \approx 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad (1.1)$$

mit der Kraft F in Newton und $d = \frac{d_1+d_2}{2}$ die Vickershärte HV berechnen.

1.2.2 Zugversuch

tbd

Kapitel 2

Durchführung

Erwähnung von Ti64 nochmal und (TS-STDA) Three Step short Time duplex Anneal

2.1 α_p -Studie

2.2 Martensit-Bildung

Um Martensit zu bilden werden Ti64-Teile nach der ersten Wärmebehandlung, wie es in Abbildung 2.1 zusammengefasst wird, für 1 min bei 930C erwärmt und dann auf Raumtemperatur wassergekühlt. Unter dem Einfluss von der Diffusion soll sich die erhaltene und metastabile Beta Phase aus der bimodalen Struktur weiter wachsen. Die kurze Erwärmungszeit soll dafür sorgen, dass die neu gebildeten Beta-Gebiete nicht mit β -Stabilisatoren, in diesem Fall Vanadium, bereichert und dadurch stabilisiert werden. Durch das schnelle Abschrecken auf Raumtemperatur wandelt sich das neue β diffusionslos und lokal in Martensit um.

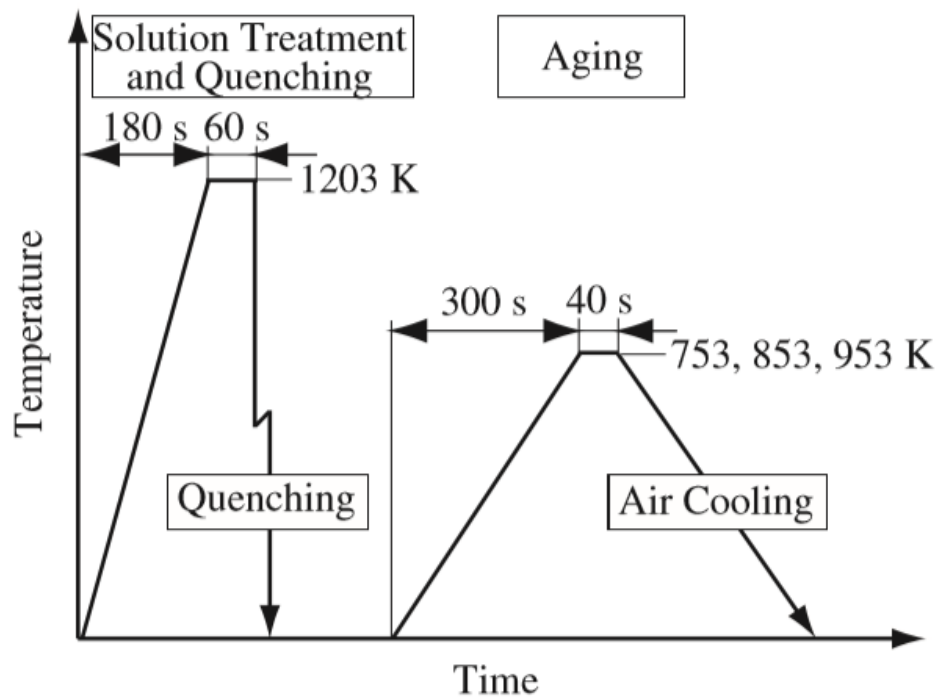


Abb. 2.1: Vorgehensweise nach dem Duplex-Anneal bei STDA für Ti-64 (Strengthening of Ti-6Al-4V Alloy by Short-Time Duplex Heat Treatment)

Da die β_t von Ti-64 relativ niedriger ist als die von Ti-6242, liegt auch ihrer Gleichgewichtstemperatur unterhalb der von Ti-6242. Außerdem hat Vanadium im Vergleich zu Molybdän eine viel größere Diffusionsrate in Titan, was die schnellen Anlasszeiten noch weiter erklärt [Titan und Titan legierungen, Zwicker]. Aus diesen Gründen wurden in diesem Schritt die Ti-6242-Proben nach dem Duplex-Anneal für 8-16 min jeweils bei 930°C und 950°C wärmebehandelt.

Eine bekannte Wärmebehandlung von $\alpha+\beta$ -Titanlegierungen ist die *Solution treatment and quenching*, wobei die Titanlegierung direkt von einer Temperatur T_1 unterhalb β_t nach 0,5-1 h abgeschreckt wird. Wie bei der oben beschriebenen Wärmebehandlung stellt sich bei T_1 ein zweiphasiges Gefüge mit α_p und β ein. Die β -Phase wandelt sich dann auch beim Abschrecken martensitisch um und wird α' genannt. Zum Vergleich zu der studierten Wärmebehandlung werden AR-Proben bei 983°C für 1h erwärmt und wassergekühlt.

2.3 Martensit-Zerfall

Kapitel 3

Ergebnisse

tbd

Kapitel 4

Diskussion der Ergebnisse

tbd

Kapitel 5

Fazit und Ausblick

tbd

