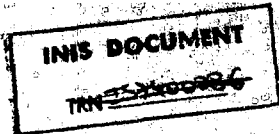


NRCN-364



ריתוך טנטלום

ע שטרן - אנרי ב דסט

מא 1971

INIS input
MF prepared



מרכז המחקר והיישום של האנרגיה האטומית
ISRAEL ATOMIC ENERGY COMMISSION, NUCLEAR RESEARCH CENTRE

ריחור טנטלום

ע. ישראלי - אנה - ב. דפני

טא. 1973

ANIS
MF Press

נקבת ספטמבר 1973



TANTALUM WELDING

A. Stern , D. Anili, M. Dapht

ABSTRACT

Apparatus and techniques for tantalum welding are described. The welding was done in argon filled boxes, using the TIG/DC method with straight polarity. In order to ensure ample protection of the seams, they were welded under prepurified argon (99.998%) .

Special jigs and fixtures were developed to serve as heat sinks and for shielding the seam root. Components for vacuum furnaces , heating elements, and tools for boiling nitric acid were welded.

Radiographic, metallographic, hardness, tension and bending tests showed that the weld complies with the usual standards.

תקציר

פותחו מחקנים ויזשמו טכנולוגיות של ריתוך טנטלום. הרחוכים נעשו בשיטת TIG/DC עם קוטביות ישרה בתיבות כפפות. מאחר ונקיון הארגון בתיבה אינו מספיק להגנת האזורים המוחכים, השתמשנו בארגון טהור ביותר (99,998%) במבער הריתוך, ולגיבוי שורש התפר. תפסניות מיוחדות שמשו לגריעת חום מאזור הריתוך, ולגיבוי שורש התפר. רותכו אביזרים לתנורים, גופי חימום, הכללים ריתוך של פחים עבים אל פחים דקים (3mm ל 0.2mm). וכלים להרתחת חומצה חנקנית (HNO_3) בריכוז 70%. בבדיקות רדיוגרפיה, מטלורפיה, בדיקות קשיות, מחיתה וכפיפה נמצאו הריתוכים באיכות טובה, ומתאימיר לחקנים המקובלים של ריתוך טנטלום.

<u>עמוד</u>	<u>תוכן ענינים</u>
1.....	תקציר
5.....	מבוא
6.....	סקר ספרות
8.....	ניסויים ראשוניים
9.....	תהליך הריתוך
9.....	ציוד וחומרים
10.....	תיבת הריתוך
12.....	ריתוך פחים ישרים
12.....	בדיקת הריתוכים
12.....	מראה כללי, רדיוגרפיה ומטלוגרפיה
16.....	בדיקות
19.....	ריתוך גופי טנטלום מורכבים
19.....	ייצור גופי חימום
20.....	ייצור כלים להרתחת חומצה
23.....	ספרות
24.....	נספח

מבוא

השמוש בטנטלום הולך ומתרחב מזה 20 שנה בזכות עמידתו המצויינת בתנאים קורוזיביים, ועמפרטורת ההיתוך הגבוהה שלו (2996°C). בעיקר משתמשים בו במפעלים כימיים, במתקנים בהם נדרשת במיוחד העמידות בפני חומצות. הטנטלום משמש לבניית גופי חימום לטמפרטורות גבוהות, לעבודה בתנאי וקואוס או באווירה אינרטית. לחומר זה שימושים בתעשייה האלקטרונית ובהנדסה רפואית. הטנטלום משמש גם כחומר בניה חשוב בתעשיות מתחכמות.

שמילי טנטלום מיוצרים בשתי שיטות עיקריות: מטלורגיה האבקות, התכה בתנור קרן אלקטרוניים. ניתן להשיגו בצורת מוטות, פחים, תוטסים, צנורות, רשתות ועוד. הטנטלום זול יותר מן המתכות המצילות שהוא ממיר בשימושו.

הכונותיו הפיסיקליות הן:

73	- מספר אטומי
180.83	- משקל אטומי
16.6 gr/cm^3	- צפיפות ב- 20°C
$6.5 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	- מקדם ההפסעות קווית ב- $0-100^{\circ}\text{C}$
$0.036 \text{ cal/gr } ^{\circ}\text{C}$	- חום סגולי ב- 58°C
$0.13 \text{ cal/}^{\circ}\text{C sec}$	- מוליכות חום } ($20-100^{\circ}\text{C}$)
$0.174 \text{ cal/}^{\circ}\text{C sec}$	- סגולית } (1430°C)
$15.5 \text{ } \mu\Omega\text{cm}$	- התנגדות חשמלית } (20°C)
$80.8 \text{ } \mu\Omega$	- סגולית } (1830°C)
$3.82 \times 10^{-3} \text{ } \mu\Omega\text{cm/}^{\circ}\text{C}$	- מקדם ההתנגדות החשמלית בחום ($0-100^{\circ}$)

בפח העבה מ- 1.5 מ"מ, יוצר הזרם הרוש לקבלת תפר חודר, אמנם ריתוך יחסית גדול, שלא ניתן להגנה מספקת על ידי הגז הזורם דרך המעבר. גם בריתוך עם חוט מילוי נוצר אמנם גדול, שלא ניתן לספק לו הגנת גז אינרטי מספקת על ידי המעבר. במקרה זה, מתחמצן חוט המילוי ובכך גורם לקונטמינציה של התפר. במקרים כאלה, הריתוך נעשה בתוך תיבה, באיירת ארגון⁽¹⁾. ניתן לעבוד בתנאים אחר שטיפתן בארגון, או בתנאים אטומות לוקואום שרוקנו ל - 10^{-4} mmHg, ומולאו בארגון נקי, בשני המקרים אחוז נקיון הארגון הוא 99.998%. הצדדים המעשיים של ריתוך סנטלום תוארו בהרחבה על ידי Haslip and Payne⁽²⁾. על פי מחקרם, ניתן להשיג חיבורים טובים כאשר מקפידים על התאמה נכונה של החלקים המרוחקים, ניקויי החלקים, שימוש בתפניות מתאימות, והספגת גז אינרטי בצורה מתאימה לתפר ולגזבוני. ההליכי הריתוך של סנטלום תוארו גם על ידי Silverstein וחבריו⁽³⁾. הם מצביעים על מספר בעיות הקשורות בריתוך סנטלום.

- הופעת פורוזיות בגבול שבין הפח הנחול לתפר:

- היווצרות גרעינים גדולים מאוד בתוך התפר:

מופעת הפורוזיות נחקרה⁽⁴⁾ בריתוכי יד של פח סנטלום והוכח כי טיבן של מטלורגית האבקות, יציקה וקואום ובתנאי תרן אלקטרונים עבור סוגים שונים של סנטלום בעלי טוהר תעשייתי, תלויה הפורוזיות בתהליך יצירת הפחים ולא ברמת היסודות המומסים בחדידה בתוך החומר. התכונות האופייניות של פורוזיות זו מצביעות על

כך שמהליך ההיווצרות הוא נוקליאציה השריגנית של בוועת גז על בטוס סימן, על

נוקלאנט לא מזוהה. יש להניח⁽⁴⁾ שהנוקלאנט ניתן לפרוק או להתפרק בסנטלום שהוכי

כשיטת היציקה בוקואום, ובתנאי תרן אלקטרונים. בפחים שהוכנו בשיטת אלה, לא

נמצאה פורוזיות. בדיקה רמיכות של תכני סנטלום הראתה תופעת דומה⁽⁵⁾. הופעת

גרעינים גדולים בתפר הריתוך של הסנטלום, יכולה להרע את התכונות המכניות של

החיבור, ולסכן את עמידותו בפני גורמים מאחר שסנטלום תעשייתי רגיל

להתקפת קורוזיבית בין-גזעינית. הניסויים הרגדה אולטרסונית של הפחים בעת הריתוך,

להקטנת גודל הגרעינים, היתה הצלחה חלקית (ציור 1). ניתן להשטיח את גודל הגרעינים

גם על ידי הרעדת הקשת^{(6),(7)}. רשימת הצליחה כפולדה 80-87: 1987

סקר ספרות

הריתוך בשיטת TIG נמצא כמתאים ביותר עבור טנטלום. ניתן להשיג זפרים טובים כאשר האזור המותך והמתכת החמה סביבו מבודדים מהאוויר על ידי גז אינרטי (ארגון, הליום). ריתוכי השקה, עד עובי 1.5 מ"מ, נעשים בדרך כלל בלי חוט מילוי. לעוביים אלה של חומר, מספק המבער הגנה לתפר, אך שורש התפר צריך מיגון על ידי זרם ארגון נוסף. Miller⁽¹⁾ מצא כי בריתוך בשיטת DC-SP מתקבלים תפרים משיכים יותר מאשר בשיטת AC באותם תנאי ריתוך. הסיבה היא, חדירות טובה של התפר בשיטת DC-SP. שיטה זו מאפשרת ריתוך עם זרם קטן יותר מאשר בשיטת AC, לכן פחות מתכת מחוממת, ואמבט הריתוך קטן ומוגן טוב יותר על ידי הגז האינרטי הזורם דרך המבער. בעזרת מכשירים אוטומטיים ניתן לקבל תוצאות מצויינות, ובכך להגדיל את קצב הריתוך, להקטין עד למינימום קונטמינציה של התפר ולקבל ריתוכים אחידים. חנאי הריתוך, חלויים במידה רבה בסוג התפטניה לכן הנתונים בטבלה I יכולים לשמש רק כמנחים לניסויי ריתוך ראשוניים.

טבלה I - ריתוך פחי טנטלום ב-TIG (שיטת DC-SP, ללא חוט מילוי) (1)

Sheet thickness in.	Tungsten electrode diameter in.	Argon shield nozzel in	Argon flow		Welding current amp	Welding speed in./min	Remarks
			Torch ft ³ /h	Back- up ft ³ /h			
0.012	1/16	3/8	12	5	45	20	Machine weld
0.020	1/16	3/8	14	5	30	25	Machine weld
0.030	1/16	3/8	14	5	100	25	Machine weld
0.030	1/16	3/8	14	5	30	-	Hand weld
0.040	3/32	1/2	16	5	125	20	Machine weld
0.050	3/32	1/2	16	5	150	20	Machine weld
0.060	1/8	5/8	16	5	160	20	Machine weld
0.060	1/8	5/8	16	5	120	-	Hand weld
0.080	1/8	5/8	16	5	180	20	Machine weld

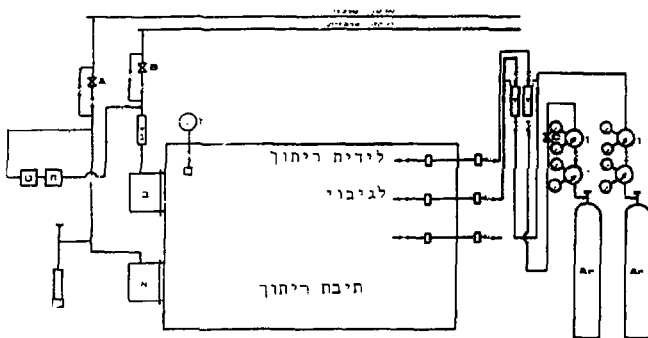


צירור 1: (3) השפעה הרעדה אולטרסונית על גודל הגרעינים של תפרי ריתוך טנטלום.
 למעלה - ריתוך קשה לא מורעד. למטה - ריתוך קשה מורעד אולטרסונית.
 איכול אלקטוליטי בהמיכה של $10^{-1} \text{F} - 90\% \text{H}_2\text{SO}_4$.

ניסויים ראשוניים

חלק מהריחובים הראשוניים שנעשו באוירה אינרטיה, היו שבירים ביותר. באוירה משופרת (נקייה יותר), עם גיבוי התפר והשדש שלו בארגון טהור (99,998%), שופרה איכות הויתוכים. עדיין לא פיתחנו את השימוש בהפסניוה מתאימות לגריעת חום. לעומת זאת, השגנו ניקיון גבוה של האוירה סביב הריחוך, וכן של חלקים המרותכים. בשיטה זו רותכו טבעה לגופי חיטום, וכן דגמים עבור בדיקות קושי, מחיחה וכפיפה. נמצא כי נקודת הכניעה והחוזק למהיחה, הם כ- 65% מהערכים של אותו החומר שלא רותך. כן נמצאה באזור הריחוך עלייה בקושי, שההאימה לנאתר בספרות^(1,2). בזיקה הכפיפה, הראתה שהחומר משיך למדי, וניהן לכפיפה (צירור 2). בניסיון לרתך פחים דקים אל פחים עבים נמצא שאפשר להשיג טיפור ניכר בטווח הריחוך בעזרת הפסניוה מתאימות.

- א. בית מכנן כניסה
 - ב. בית מסנו יניקה
 - ג. מד ספיקה (פלומטר)
 - ד. שסתום בטחון
 - ה. מד ספיקה, ארגון חי צוני
 - ו. וסת לחץ
 - ז. מד לחץ
 - ח. מרחס
 - ט. מייבש
- A,B,C-ברזים חשמליים

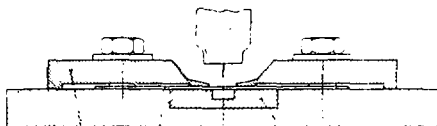


ציור 4: מערכת לשמירת תח-לחץ בתיבת הריחוק.

שינויים בתח-לחץ, בין אם הם נגרמים מהכנסת או הוצאת הכפפות, או כהוצאה של כניסת ארגון דרך המבער והגיבוי, מתוקנים על ידי המערכת. היא מורכבת ממנומטר המפעיל שני ברזים חשמליים שמורכבים על קו היניקה ועל קו הספקה ארגון (A,B). שינוי בתח-לחץ שנקבע מראש, גורם לפתיחת או לסגירת הברזים החשמליים. הדבר מאפשר יניקה עודף הארגון מתוך התיבה, או הספקת ארגון נוספת, לפי הצורך, מתוך מיכלים. דרך מעבר מבודד ואטום שנמצא על דופן התיבה, עוברת אלקטרודת נחושת מקוררת במים. לאלקטרודה זו מחוברת ידית ריתוך מטיפוס (USA) Linde HW-18, הארגון המסופק למבער, מוכנס דרך מעבר הקבוע בדופן התיבה. מעבר נוסף מספק ארגון לגיבוי הפרים (אם יש צורך בכך). הידיה מקוררת במים. מעברי המים קבועים על גב התיבה. מוצרים או כלים מוכנסים לתוך התיבה דרך פתח בקוטר 360 מ"מ, המכוסה בשק פוליאתילן. העבודה בתיבה נעשית בעזרת שתי כפפות גומי (ניאופרין) הקבועות על החלון הקידמי של התיבה, שתי כפפות נוספות הנמצאות מעל לכפפות אלה, משמשות לעבודה הקטורה כטיפול שוטף בתיבה, או לתפיסת חלקים ארוכים וטיפול בתפסנית. הכפפות ההתונות מכוסות מבפנים בזוג כפפות עור דק, המקובלות בריתוך TIG, אך עם שריון ארוך. תפקידן למנוע פגיעה אפשרית בכפפות-הגומי, כתוצאה-ממגע עם גוש ענטלום הס.

ישתמשו במכשיר ריתוך Welding Power Supply, C-300 AC/DC מתוצרת Union Carbide Corp., Inc., המכשיר מספק זרם בשלושה חומים חופפים, וכדור יחידה לזרימה גבוהה להצגת הקשת. הפחים נוקו בנייר שמיר ובאצטון והוכנו ירידתם בהפסגיה לרייתורים קרויים (ציור 3).

חבנו



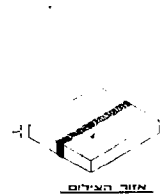
גיבוי נחושת כח לריתוך לחי לוחצת

ציור 3: הפסגיה לריתוך קרוי של פחים.

ההפסגיה בציור 3 מבטיחה הפיטה יציבה של הפחים, גריעה חום ואספקת ארגון לגיבוי שורש המפר, הלחי הלוחצת ולוח הגיבוי עטויים נחושת המצטיינת במוליכות חום טובה.

היבת הריתוך

על מנת לרתך שטילום בעובי העולה על 2 מ"מ, עם וללא, חוט מילוי יש לעבוד במיבה אטומה, באזורה ארגון בדרגת יקרון גבוהה (ראה סקר ספרות). שוטפים את ההיבה שלוש פעמים בארגון 99.998%, העובר ההליך ייבוש ללחות הקטנה מ-10%. הההליך מבוצע בתח-לחץ של 25 מ"מ מיס; הת-לחץ זה נשמר על ידי מערכת מיוחדת (ציור 4).



(x4)

ציור 5: מיקרומבנה של ריתוך טנטלום.

לבדיקה מקרוסקופית בטיט הטדה הבהיר הוכנו הדגמים על ידי:

- השחזה עד לנייר 600 mesh;

- ליטוש על בד עד 100;

- איכול בתמיסה למשך 2 1/2 דקות בטמפרטורת החדר.

התמיסה מכילה: 2500 חומצה גפריתית (H₂SO₄)

1000 חומצה חנקתית 3:1

1000 חומצה פלואית (F)

ניתוח מטלוגרפי של המבנה בשני סוגי מיקרו, מראה כי בידור התפר מתקבלים גרעינים

גדולים, שהתמצקות בצורה כרונית בהתאם לכיוון גריעה החום (ציורים 5,6). מתקבלים

גרעינים בגודל של 1 מ"מ ויותר, המכונים ליוון ופנו במרכזו, וניצבים לחפר קרוב

לאזור השפעת החום (ציור 5). באזור השפעת החום, קרוב הרבה, אל גידול גרעינים ניכר

בגלל הטמפרטורה הגבוהה בעת הריתוך. גידול לגרינד הממוצע באזור זה, הולך ונעך עד

לגודלו הממוצע בפח הבתול (ציור 7).

ריתוך פחים ישרים

- פחי טנטלום בעובי 1 מ"מ הוכנו בשיטה המקובלת, והוכנסו לתפטנית (ציור 3). רוחב החריץ לגיבוי התפר היה 12 מ"מ, ומרחק הלחיים 16 מ"מ. ריתוך ללא חוט מילוי נעשה ידנית בתנאים הבאים:
- אלקטרודת טונגסטן עם 2% תוריה, 1,6 מ"מ \emptyset
 - זרם ריתוך DC/SP 75 amp ;
 - ספיקת ארגון למבער 14 lit/min ;
 - ספיקת ארגון לגיבוי התפר 9 lit/min ;
 - ארגון בניקיון של 99,998% מהוצרת "מטיסון" (PREP) ;
- הריתוך עם חוט מילוי של 1 מ"מ \emptyset , נעשה בתנאים דומים, אך בזרם של 100 amp ~ מהפחים נחתכו דגמים לבדיקות מיקרו מבנה ובדיקות מכניות.

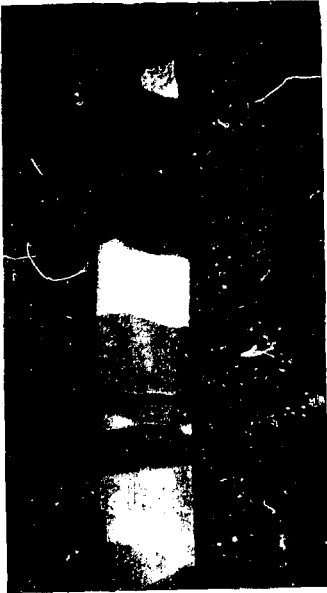
מראה כללי, רדיוגרפיה ומטלוגרפיה

- לאחר הריתוך, ניתן להבחין בפח בשלושה אזורים: אזור התפר, אזור השפעת החום והפח הבתול. אזור התפר נראה מבריק משני צידי הפח, זה מוכיח כי אספקת הארגון לידית ולגיבוי היתה מספקת. באזור השפעת החום, השתנה צבע הפח עד למקום בו נתפס בלחיים של התפטנית. שינוי זה נובע, כנראה, מספיגת אי נקיונות שמכיל הארגון. שינוי הצבע היה בשיכבה החיצונית בלבד, וניתן להסרה על ידי הברשה קלה. בדיקה רדיוגרפית של הפחים המרותכים עם וולי חוט מילוי ולא הראתה סדקים, פורוזיות, או פגמים אחרים. הבדיקה המטלוגרפית נעשתה בשני משורים:
- מקביל לפני הפח המרותך (ציור 5).
 - ניצב להפר (ציור 6).

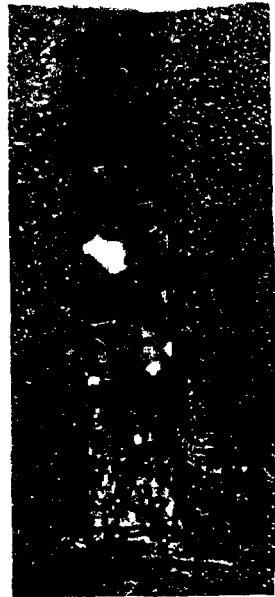
4. 2000 440 000 000

2000 9: 00414166 0 04 50: 000400 00000

2000 0000



2000 000 00000
2000 0000 0000 000000





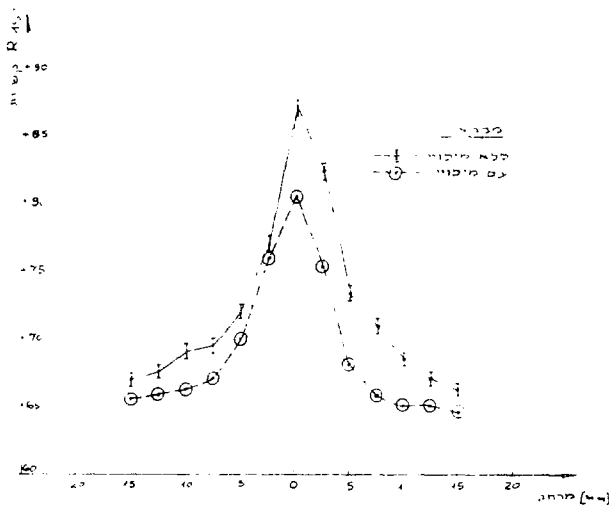
אזור השפעת החום וההחלקת
אזור הפח הבתול



אזור התפר

ציור 6: מטלוגרפיה של פחי טנטלום מרוחקים.
(x15)

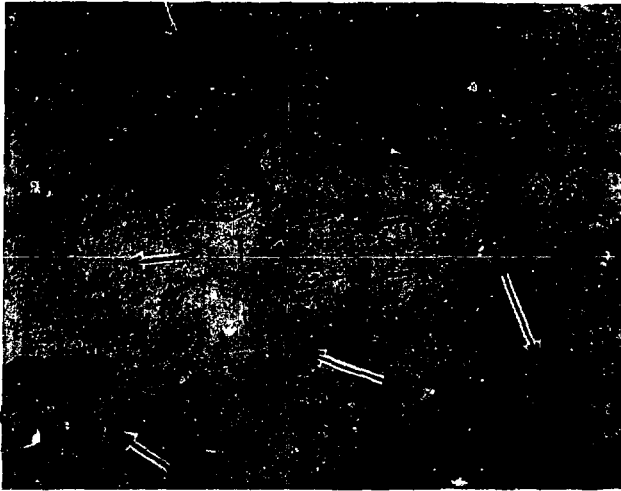
a. ריתוך עם חוט מילוי.



צילור 8: בדיקה קשיות לאורך קוויט ניצבים לתפר, פח טנטלום.

בעובי 1 מ"מ מצב מורפה (R_{15T}).

הגרפים שהתקבלו, דומים לאלה הנתונים בספרות (1). ההקשייה בחפר הינה כפיאה תוצאה של התמצקות מהירה של האזור, תוך ספיגת גזים לאחר חלירה (בזמן חלירה) ההקשייה אזור השפעת החום, היא תוצאה של ספיגת אי-ניקיונות שמכיל נארגון המיו ורספידר תלויה ישירות בעמפרטורה, כמות הגזים שנספגו, וזלכת וקטנה מאזור התפר ועד לפח הבתול. מכאן מתקבלת גם ירידה יקשיות באזור השפעת החום קרוב לתפר, ועד הפח הבתול. מתוך הפחים שדווחו עם וולא מילוי הוצאו 4 דגמי מתיחה מכל סוג. הדגמים הוכנו לפי הסו ASTM-E8-66 המתיחה בוצעה במכשיר Instron בקצב 10 mm/min . תוצאות הבדיקות נתונות בטבלה III.



(X100)

ציר 7: פח טנטלום באזור רחוק ממקום הייתוך.

באזור הפח הבהול נראו גרעינים שווי צירים בגודל לא אחיד. האיכול חושף את גבולות הגרעינים בצורה חדה, הור יצירת גומות איכול (etch pits) על חלק מהגרעינים (ראה חיצים בציר 7).

בדיקה קטורה, מתיחה ולחצנות

בדיקה קטורה לאורך קוים ניצבים להפר, מספקה מידע אודות השתנות ההכונות המכניות ממרכז ההפר, דרך אזור השרעת החום, ועד לפח הבהול. נבחרה שיטת הבדיקה R_{15T} (מאחר והפח היה בעובי 1 מ"מ, ובמצב מורפה). התוצאות בתמונות כממוצע יל טמונת בבדיקה טונוה עבור כל נקודה על הגרף (ציר 8).



ציור 10: משיכת הפחים המרוקנים לצורה כוטיה בטיטה ה-10 (החומר).

ריתוך גופי טנטלום מורכבים

להלן האור עבודה שבוצעו לאחר לימוד יום זה ריתוך בפחים ישרים: א. ייצור גופי חימום לטמפרטורות גבוהות עבור הנור 10 ואוס 2- ייצור כלים להתכת חומצה חנקתית מרוכזת.

ייצור גופי חימום:

גופי החימום מורכבים משני חיטוקים המיוצרים ביניהם פח 10 דה, המשמש כרשת גיו חשמלית (ציור 11).



ציור 11: גוף חימום עשוי טנטלום

עובי החישוק 3 מ"מ ;

עובי פח טנטלום דק 0,2 מ"מ.

טבלה 111 : הכוונה מכניות של פחית Ta מרוחקים עם ונלי חוט מילוי (9).

הערות	$e\%$	F.S Kg/mm ²	U.T.S Kg/mm ²	Y.S, U.2 Kg/mm ²	מס' הדגם
לא שבור עם חוט מילוי	24	--	25.83	18.28	72/120
	23.8	17.1	27.00	18.68	121
	25.4	17.49	26.63	18.28	122
	24.1	17.43	26.15	18.62	123
לא שבור בלי חוט מילוי	20.93	23.80	28.37	19.64	72/124
	30.67	24.26	27.45	20.17	125
	21.47	21.48	27.45	20.29	126
	22.33	15.90	28.42	20.15	127

כהוצאה מהקשייה הפח באזור ההפר ובאזור השפעת החום (ציור 9) נקרעו הדגמים באזור הפח הבהול, על מנת לבדוק את עיצובם הפלסטי עובדו הפחים המרוחקים בלחצנות (Spinning) לצורה של כוסיה (ציור 10). בבדיקות רדיוגרפיות, לא נהגלו פגמים בתפר. בחלק העליון של הכוסיה הופיעו סדקים בדומה לפח הבהול.

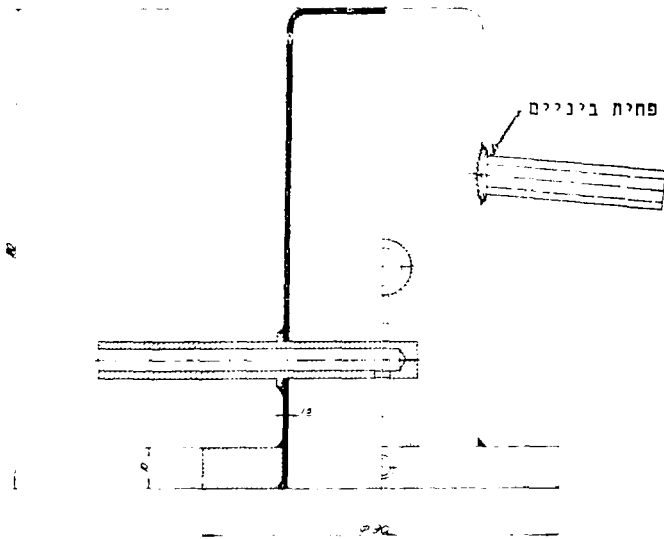


א. ללא חוט מילוי.



ב. עם חוט מילוי.

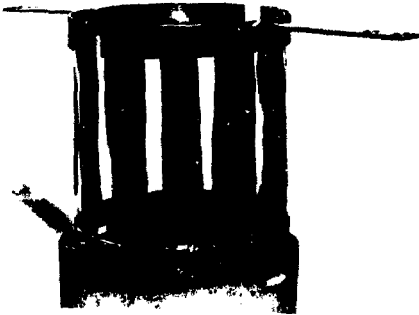
ציור 9: דגמי מחיתה עשויים Ta מרותך. החיצים מצביעים על מקום הקריעה.



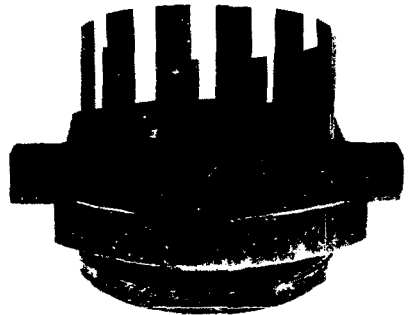
ציור 13: כלי עשוי טנטלום להרחחת חומצה חנקתית בריכוז של 70%.

בגלל המחזור התרמי שהכלי עובר, חייבים הרייתוכים להיות אמינים מבחינה מכנית, ואסורה הופעת פריכות עקב השימוש בתנאים קשים, הרייתוכים נעשו ללא תפסניות מיוחדות. על מנת לעקוף את בעיית הרייתוך של טנטלום דק לטנטלום עבה, נעשו הרייתוכים על ידי חוליות ביניים, לדוגמא: הצינורות רותכו תחילה לפחיות (ציור 13), ובצורה זו לכוסית הטנטלום. בדיקה רדיוגרפית של הרייתוכים ובדיקת אטימות לא גילתה פגמים ודליפות. גם לאחר מספר חודשי עבודה, לא נתגלו פגמים בכלים. בהמשך ובדומה לעבודתה אלה נעשו עבודות אחזקה של מתקנים המכילים חלקים עשויים טנטלום ונכשלו בעת עבודתם. עבודות אלה בוצעו עבור התעשייה ויכימית בנגב.

להיטוק העליון החצוי, מרותכות "אוזניים" אליהן מחוברים מוליכי הזרם. התפסניות
 לביצוע הריחוק ולגריעה החום בחיבור הפח הדק נבנו מנחושת אלקטרוליטית. גוף חימום
 מורכב יוחר (ציור 12), מורכב משני חימוקים המחוברים ביניהם ע"י רצועת טנטלום בעובי
 0,2 מ"מ. החיטוק העליון חצוי ודרך "האוזניים" המחוברות אליו מספקים אח הזרם החשמלי.



א. לאחר ניסוי חימום ועבודה של מספר חודשי.



ב. מורכב בתפסניות לפני הריחוק.

ציור 12: גוף חימום "סלסלה" עשוי טנטלום, עובי

החיטוקים 3 מ"מ, עובי הרצועות 0.2 מ"מ.

מאור התפסניות ששימשו לקביעה החלקים של גוף חימום "סלסלה", ניתן בנספח. הקום
 הריחוק הקריטי של גוף החימום היה החיבור שבין החיטוק העבה (3 מ"מ) לרצועות הדקות
 (0,2 מ"מ). התגברנו על הבעיה על ידי גריעת חום מתאימה ועל ידי מיקום הקשת על
 החיטוק ורק במידה מועטה על הרצועות הדקות.

ייצור כלים להרחחת חומצה

כוסית מטנטלום בעובי דופן של 1.5 מ"מ מחוברת לאוגן עבה (10 מ"מ) מהווה את גוף הכלי.
 לכוסית מחוברים צינורות עבות דופן מטנטלום (ציור 13), המשמשים כמעברים לחומצה.

NRCN-364

1. MILLER, G. L., Tantalum and Niobium, Butterworth's, London, 1959, p.330.
2. HASLIP, L. and PAYNE, B. S., Wldg. J., 38, 1116 (1953).
3. SILVERSTEIN, J. M. et al., Metal Prog., 81, 103 (1960).
4. BRADT, R. C. and CURTIS, R. M. Wldg. J., Suppl., 45, 124 -s (1966).
5. KAMMER, P. H. et al., Wldg. J., Suppl., 51, 304-s (1972).
6. OPERATING MANUAL, Welding Controls - Cycromatic, Model 70 A, CELESCO, Electronic Systems, Data Science, Corp., San Diego, U.S.A.
7. Chao-Fang-Tseng and Savage, W. F., Wldg. J., 50, 777 (1971).
8. INSTRUCTIONS FOR L-300 AC/DC WELDING POWER SUPPLY, Union Carbide., Linde Div., Tech. Rep. Form 11-797-A.
9. מוקוביץ, מ', תוצאות מתיחה של דגמי טנטלום מרוחקים, נמסר אישי.

הבעת תודה

תודתנו נתונה ל- ג' אליה (ריתוך), י' רוט (תכנון),
ד' שמריהו (בדיקות) - שעזרו לקידום הנושא;
וכן ל- מ' מרקוביץ וצוותו על בדיקות המתיחה.

נספח : תרבה יל תפסנית לזיוון ו גוף תיטום ילסלתי

