

ת.ר.נ. 147600479

פיתוח תרלית היקור פוסלויגים  
המכילים תחצת פלוטוניום  
לטרלית גרעינית

ע. טרלויג

טרלויג



פיתוח תהליך ריתוך מיכלונים  
המכילים תחמצת פלוטוניום 238  
לסוללות גרעיניות

ע' שטרן, מ' דפט

מרס 1976

תקציר

נעשה פיתוח ראשוני של תהליך ריתוך לסגירת מיכלונים המכילים  $Pu^{238}O_2$  המשמשים מקור חום לסוללות גרעיניות לקוצבי לב. הפיתוח הראשוני כלל הכנת תיבת ריתוך כשיטת TIG, כיצוע ניסויים עם מיכלונים עשויים פל"ם וטנטלום טהור, ומציאת תנאי ריתוך אופטימאליים לסגירת מיכלונים סופיים עשויים Ta/10%. הפיתוח כלל הכנת ביקורת לכל השלבים. בהמשך נכצע פיתוח התהליך הנ"ל בתיבה מזוהמת.



תוכן ענינים

7	מבוא	עמ' 7
4	- תיבת כפפות לתהליכי ריתוך	עמ' 4
5	- ריתוך אוטומטי של מיכלונים	עמ' 5
7	ניסויים מוקדמים	עמ' 7
7	- ריתוך מיכלוני פלב"מ	עמ' 7
13	- ריתוך מיכלוני טנטלום	עמ' 13
17	פיתוח תהליך ריתוך של טנטלום 10% W	עמ' 17
21	סכום	עמ' 21
	נספחים	עמ'
	ספרות	עמ'



מבוא

סוללות גרעיניות מכוססות על אנרגיה חום המחקבלת מרלק רדיואיזוטופי. הדלק, במקרה זה אוקסיד פלוטוניום 238, מבודד מהסביבה ע"י שני מיכלונים אטומים הנמצאים האחד כחוך השני. (1), (2), (3)

המערכת מורכבת ממיכל חיצוני עשוי Hastelloy C 276 ומיכלון פנימי מנתן טנטלום W 10%. מבנה זה נבחר כדי לענות לדרישות הנובעות מהגורמים הבאים: (3)

- סוג וצורת הדלק הרדיואיזוטופי;
- יציבות והתאמה הדדית בין שני המיכלונים;
- עמידה כקריטריונים של USAEC לגבי סוללות גרעיניות לשימוש עבור קוצבי לב. (3)

הדלק, בצורת גלולה של אוקסיד פלוטוניום 238, נתון בתוך המיכלון הפנימי. סגירת המיכלון הפנימי ע"י ריחוך חייכת להיעשות בתוך תיבת כפפות המגינה בפני פיזור זיהום רדיואקטיבי. (4)

תוך כדי פיתוח תהליך הסגירה (ע"י ריחוך) של המיכלון הפנימי היה צורך לפתור את הכעיות הבאות:-

א. הסבת תיבת כפפות לחיכת ריחוך, בה ניתן לבצע ריחוך באוירת ארגון נקיה (שיטת TIG).

ב. הכנת מערכת תפסניות ( Jigs & Fixtures ) לריחוך אוטומטי של המיכלון.

ג. ישום ריחוך טנטלום כשיטת TIG (5) לריחוך נתן טנטלום - 10% טונגסטן.



תיכח כפפות רגילה מצויידת במערכת איורור השומרת על תת לחץ קבוע בחוך  
 התיבה ותפקידה לבצע תיקוני לחץ ע"י הכנסת או הוצאת אוריר או ארגון (4)  
 לצורך הפיכת התיבה לחיבת דיתוך נמצא פיתרון לבעיות הבאות:-

- העברת חשמל , מיס וארגון מטהר דרך קיר התיבה , כהספקות לידית  
 ריתוך כשיטת TIG.

- שיכלול מערכת האורור לטיפול בתת לחץ בתיבה כך שתהיה מסוגלת לסלק גם  
 את הארגון הזורס דרך הידית וזה הנועד לגבוי תפר הריתוך.

שינויים אלה בוצעו על תיבה לריתוך טנטלום. בתוך התיבה בוצעו ריתוכים של  
 טנטלום באיכות גבוהה והמערכות פעלו על פי התכנון. (5)

#### ריתוך אוטומטי של מיכלונים

חנאי הסכיבה בה המיכלון עלול להימצא והסכנה הרבה לפיזור זיהום רדיואקטיבי  
 עקב פריצתו, מכתביס כיצוע ריתוך באיכות גבוהה. דרישה זו ניתן לממש ע"י  
 מחזור ריתוך אוטומטי המכטיח איכות תפר זהה לכל המיכלונים.

בתכנון המחזור האוטומטי של הריתוך קבענו את הפרמטרים הבאים:-

- ריתוך ללא חוספת חוט מלוי.

- מבעד קבוע ומיכלון מסתובב אנכית סניב צירו הגאומטרי.

- חנועת מיכלון מבוקרת על ידי וסת מהיר.

- שימוש במיכשור ריתוך עם פיקוד המאפשר קביעה מראש של אורך מחזור הריתוך.

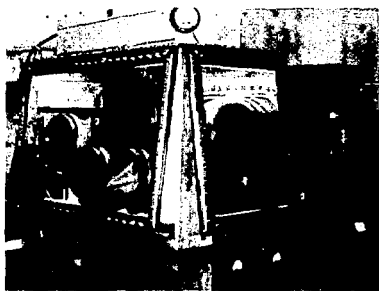
קביעה פרמטרי הריתוך והרצת תהליך העבודה נעשו במיכלונים עשויים פלביא

304 ובמיכלונים עשויים טנטלום.

ישום שיטת TIG לריתוך טנטלום בתיכח כפפוח העוברת בתת לחץ ותוצאות העבודה  
 מתוארים בדו"ח נפרד. (5) כעבורה זו היה צורך לבדוק את הרתיכות של הנחך

תיבת כפפות להליכי ריתוך

תיבת כפפות היא תא אטום בו שורר תת לחץ לעומת המעברה בה היא נמצאת. תפקידה לאפשר כיצוע תהליכים הקשורים לחימרים מזהמים ללא סכנת פיזורם (צירור 1).



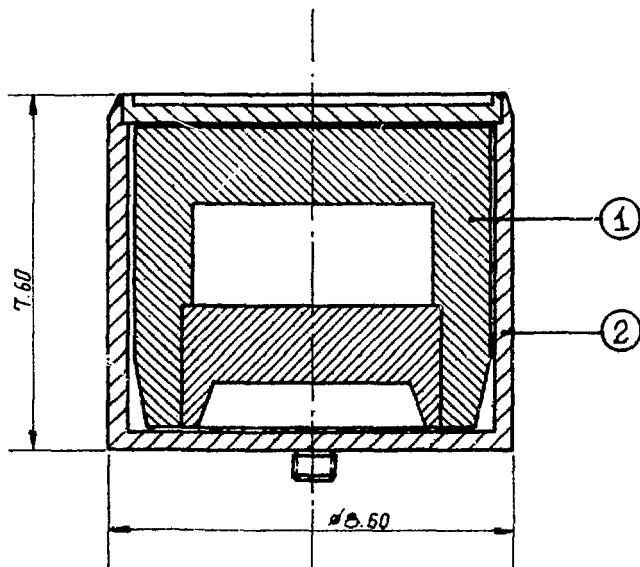
צירור 1 (4) - תיבה כפפות הכוללת מערכת ואקום וכל המתקנים להפעלת חנור לטיפולים תרמיים.



נסויים מוקדמיםריתוך מיכלוני פלכ"מ

לריתוך מיכלוני פלכ"מ בוצעו במקביל (1) תיכנון ויצור מ-כלונים; (2) הכנת מערכת תפסניות;

א. בתיכנון המיכלונים שמנו רגש על יצירת עורפי חוסר במקום הריתוך בצורת אוגן שימשם תוספת לחפר, יצירת שיפועים במקום הריתוך כדי למנוע הגרלה המימרים החיצוניים ע"י התפר, יצירת מרווח מוקדם כך הגוף למיכסה של המיכלון כדי לאפשר שיחרור גזים בעת סגירת המיכלים (ציור 2).



ציור 2: מיכלון עם מכסה לפני הריתוך - הישוט.

1. מיכלות Ta-10%

2. מיכלון Hastelloy C-276

טנטלום 10: וולפרם שתכונותיו שינוי במקצת מאלו של טנטלום נקי.<sup>(6)</sup> על סמך  
בדיקה זו נהיידע כדיתוך Ta נקי, נקבעו תהליכי העבודה לדיתוך מיכלוני  
טנטלום 10% וולפרם.

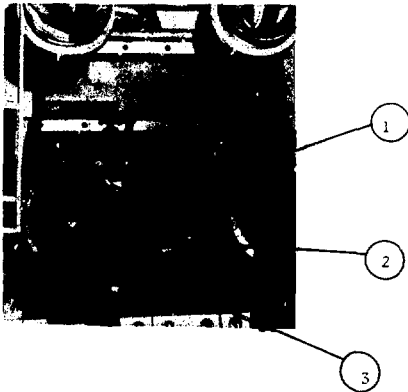


מיכלון פלב"ם

צילום 4: מיכלון פלב"ם בחור בתפסביות לפני התחלה הריתוך.

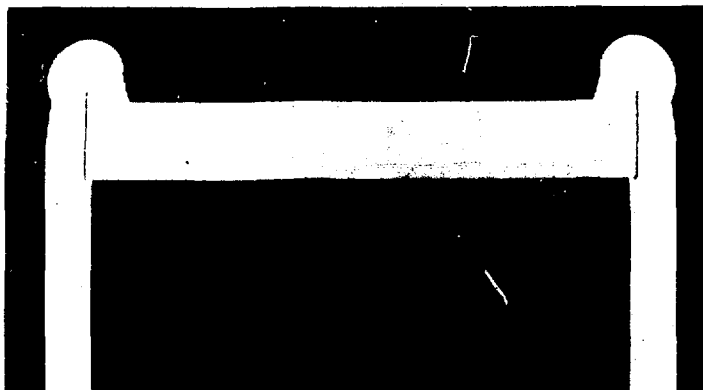
כ. הוכנה מערכת תפסניות לידית הריחוד ולמיכלון הכוללת (צילום):

- מחזיק ידיית ריתוך המאפשר הכוונה מדוייקת של הידיית למקום הריחוד.
- תפסנית של מחרטה. התפסנית ממוקמת על ציר מנוע סינכרוני כשבתוכה נתון המיכלון יחד עם תומך לגריעת חום העשוי נחושת(צילום 4).
- מנוע סינכרוני. מהירות המנוע מוסתת ע"י וסת שנמצא מחוץ לתיבה.



- צילום 3: תיבת ריתוך עם מערכת תפסניות: - 1. ידיית ריתוך קבועה במחזיק
- 2. תפסנית של מחרטה עם מיכלון.
  - 3. מנוע סינכרוני.

אזור השפעת החום, והתפר (ציור 6) תקין ודומה לזה המקובל בריחוקי פלב"מ (8)



ציור 5: מראה החיבור בין גוף המיכלון למכסה שלו  
(הגדלה 20 x)

הפח הבחול מאופיין ע"י תאומי הרפיה, ובאזור השפעת החום חל גידול גרעינים בגלל הסמפ' הגבוהה כו שהה האזור בעת הריחוק. באזור הרתוך (ציור 6b) מבחינים בפזה 6 פריט שנוצרת מהנזל האחרון שהתמצק כתפר.

בעת נסוּי הריתוך של מיכלוני הפל"מ ניסינו למצוא אח תנאי העבודה האופטימליים המשלבים חהליך ריתוך פשוט ונוח כחיבה, עם וקבלת תפר באיכות גבוהה.

תנאי העבודה בריחוכי פל"מ לקבלת תוצאות אופטימליות הם:-

1. ריתוך בידית HW-18 (Linde) באלקטרודת וולפרם 2% סוריה בקוטר של 1.6 מ"מ.

2. מהירות הריתוך 5 ס"מ לדקה (1.5 סל"ד).

3. ספיקה של 15 ליטר לדקה ארגון (Matheson) UHP- (99.999%) דרך ירית הריתוך.

4. בליטת המיכלון מעל חומך הנחשת של כ-3 מ"מ ומרחק האלקטרודה מעל שפוט המיכלון כ-2 מ"מ.

5. זרם DC נמוך (3 ÷ 2 Amp.) לחימום מוקדם וזרם של כ-12 אמפר לריתוך.

ביקורת טיב הריתוך נעשתה ע"י:- בדיקה ויזואלית, בדיקה דליפה, בדיקה מטלוגרפית של התפר.

בגמר הריתוך נבדק המיכלון תחת מקרוסקופ סטראוסקופי לגילוי פגמים היצוניים (חורים, חימצון, סדקים) מיכלון שנמצא תקין עובר בדיקת דליפה הנעשית בשני שלבים:

א. השהיית המיכלון בתא לחץ של כ-30 א"מ' הליום. בתא זה הגז חורר דרך פגמים לתוך המיכלון.

ב. הכנסתו לתא ואקום. בו כודקים המצאות הליום בתוך המיכלון ע"י מידת הדליפה של הליום מחוץ המיכלון.

בתום בדיקה זו מיכלון תקין עובר לשלב המטלוגרפיה. לצורך הבדיקה המטלוגרפית נחתך הדגם לאורך צירו ומוכנס לכינון. הכנת הדגם למטלוגרפיה נעשית כמקובל לבדיקות פל"מ.<sup>(7)</sup> הציוור 5 נתון צילום מטלוגרפי של מיכלון תקין. מבחינים בהפר אחיד ללא פגמים. קוטר המיכלון לא הוגדל ע"י התפר. המבנה המטלוגרפי של הפח,

ריתוך מיכלוני סנטלום

לאחר פיתוח התהליך עם חומר נוח לריתוך TIC - פלב"מ, נכחנו התפסניות והתיבה בריתוך T<sub>a</sub>. הכנת התיבה לריתוך נעשה עפ"י ניסיון מוקדם<sup>(5)</sup>. ריתוך המיכלונים של סנטלום דרש:-

א. שיפור מבנה התפסניות לגריעת כמות גדולה יותר של חום, ריתוך כזרמים גבוהים יותר);

ב. ניקוי כימי של המיכלים.

תהליך העבודה כלל את השלבים הבאים:-

- יצור מיכלוני סנטלום.
- ניקוי מיכני וכימי שלהם.
- מדידות גאומטריות.
- ריתוך למציאת תנאים אופטימליים.
- בדיקות.

נמצא, שזרם הריתוך הראשוני האופטימלי הוא 15 אמפר וזרם הריתוך העיקרי הוא 50 אמפר. שאר הפרמטרים נשארו זהים לאלה של מיכלוני פלב"מ.

מיכלונים מרוחקים (ציור 7) נבדקו ויזואלית ולדליפה בדומה למיכלוני הפלב"מ.



(b)6



(a)6

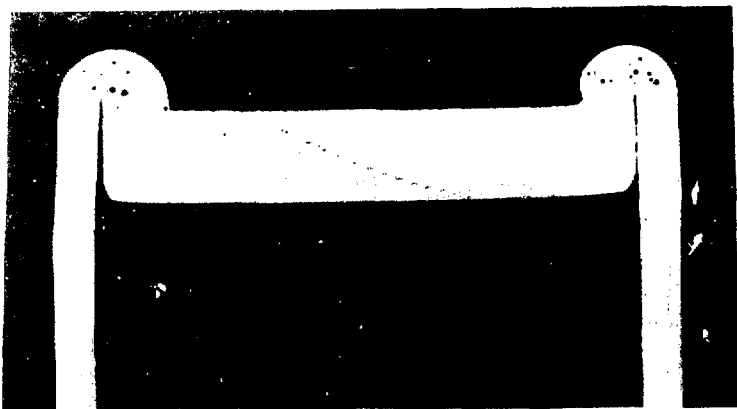
ציור 6: מכנה מטלוגרפי מיצג של אזור הריתוך  
במיכלוני פלבי"ם

( a ) מראה כללי על אזור הריתוך ( 100 × )

( b ) מראה התפר ( 500 × )

כשלב שני בפיתוח ריתוך מיכלוני טנטלום עם 10% וולמרט שימש ריתוך מיכלוני  
טנטלום נקי.





ציור 8 : מבנה מיכלון Ta מרוחק לפני איכול (X20)

באזור הריחוף מבחינים בנקוביות (ציור 8) המצביעה, כנראה על כך שחומר הגלם ממנו נחרטו המיכלונים הופק בשיטת הסינטור.<sup>(9)</sup> (5) מבנה הגרעינים וגודלם בפח הבחול, אזור השפעת החום והתפר מתאימים לידוע בספרות לגבי חומר חד-פזי (ציור 9) . מבנה חומר הגלם אופיני לטנטלוס שעבר עיכו; בקר. באזור השפעת החום גודל הגרעינים הולך וגדל ככל שקרבים למקום בריחוף. בגבול שבין הפח הבחול לאזור השפעת החום ניראית הרקריסטליזציה של הגרעינים ההרוסים והפיכתם לגרעינים שווי ציריים כמקובל באזור השפעת החום. בריחוף מתקבלים גרעינים גדולים מאד. (9), (5)



ציור 7 : מיכלון טנטלום עם מכסה לפני ואחרי הריתוך

הבדיקה המטלוגרפית נעשתה בשני שלבים:

א. בחינת המבנה ללא איכול למציאת אינקלוזיות, חורים, סדקים וחוסר התכה (ציור 8).

ב. בחינת המבנה לאחר איכול למציאת מבנה הגרעינים וגודלם (ציור 9).

פיתוח ההליך ריתוך של טנטלום 10% וולפרם

נתכי טנטלום הנכללים בקבוצה של תמיסות מוצקות מאופינים ע"י דוקטיליות גבוהה בטמפ' קרובות לטמפ' החרר יחד עם חוזק סביר בטמפ' גבוהה עד  $1800^{\circ}\text{C}$  (10).  
הנתך טנטלום 10% וולפרם נכלל בקבוצה זו והחומר מופיע כתמיסה מוצקת בטמפ' החדר (11).

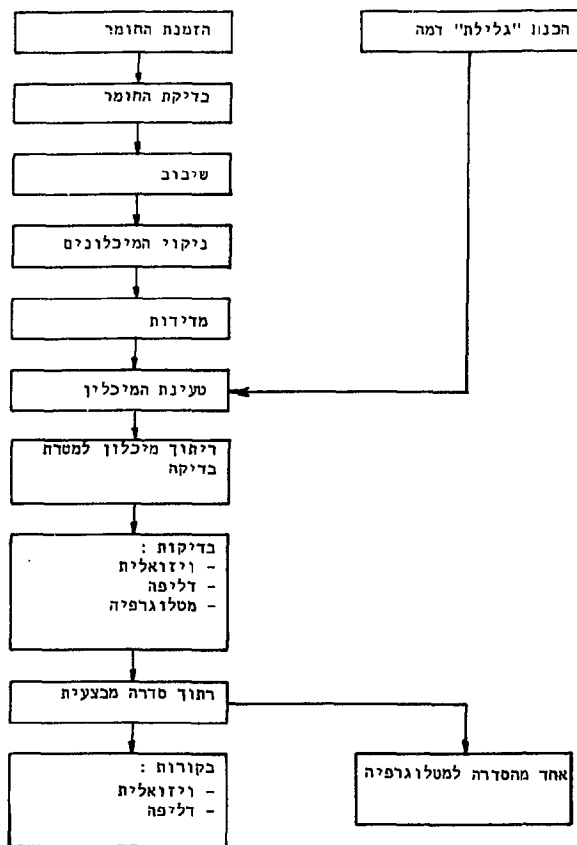
לפני ביצוע ריתוכים לסגירת המיכלונים נעשו מספר ריתוכים בריסקיות בעובי 1 מ"מ ו-1.5 מ"מ וגבדק המקרובנה המתקבל. כצפוי, באזור הרתוך התקבלה התפלגות מחדש של ריכוזי הוולפרם (coring). בתוך התפר המיקרומבנה אופיני להתמצקות תאים ולהתמצקות משולבת של תאים ודנדריטים (12). המבנים השונים מתקבלים בהתאם לתנאים המקומיים של קירור יתר קונסטיטוציונלי (constitutional supercooling) (צירור 10).



צירור 10: הגבול בין אזור השפעת החום לתפר, עבור ריתוך של דיסקת טנטלום 10% וולפרם (x100). בתוך המסגרת ניראית תופעת ה-coring.



צִיּוֹר 9: מיקרומבנה של מיכלון טנטלום מרותך (X 42). במסגרת נראית תופעה הרקליסטליזציה של החומר באזור השפעת החום.



צנור 11: הרשים זרימה של יצור מיכלונים מרוחקים

בשלב זה, על סמך הניסיון שהצטבר מריחוכי פלב"מ, טנטלום ודיסקיות  
טנטלום 10% וולפרם נעשה חיכנון מפורט של שלבי היצור של מיכלונים  
מרוחכים (ציור 11).

ס כ ו ם

לצורך פיתוח תהליך סגירת מיכלונים המכילים פלוטוניום 238 אוקסיד, הוכנה תיבת ריתוך מתאימה ובוצעו ניסויי ריתוך עם מיכלוני פל"מ, טנטלום, טנטלום 10% וולפרם.

די"ח זה מסכם את השלב הראשוני של העבודה. כשלב שני יבוצעו ריתוכים של מיכלונים המכילים את החומר הרדיואקטיבי וייעשה גם פיתוח שלב הדקונטמינציה ובדיקות מכלונים מזהמים. במקביל ייעשה פיתוח של ריתוך הנתך Hastelloy C-276 המשמש כמעטפת למיכלון עשוי טנטלום 10% וולפרם.

להכנת מספר רב של מיכלונים יהיה צורך לשפר את מערכות התירה והתפסניות בהם אנו משתמשים עתה.

על שילב בתהליך העבודה הוכנו דפי תהליך הטכניים אמינות גבוהה של היצור.  
 על ידי חיפוי זה, יוצרו מספר ניסויי ריתוך ציור 12: כמטרה לשפר את התהליך  
 על ידי לתנאי עבודה אופטימליים.



צורה 12: מיכלול סנטלום 10% וולפרם מרוהר בתנאים אופטימליים.

הפיתוח הסופי של התהליך הכולל ריתוך מיכלול המכיל פלוטוניום 238 אוקסיד,  
 דקונטמינצת המיכלון ובדיקותיו יהוו נושא לדו"ח שני.



12. W.F. Savage, C.D. Lundin, A.H. Aronson, "Weld Metal Solidification Mechanics", Welding Research Supplement, 44- (1965), 175-s.



1. J.R. Holland, "Requirements of Radioisotope capsule materials".  
Space Power Res. Div., Sandia Lab., Albuquerque, New Mexico,  
U.S.A.
2. R. Lee Davies & P.E. Moorhead, "Properties and Fabrication of  
Refractory Alloys for Isotope Containment", Lewis Res. Center,  
National Aeronautics & Space Adm., Cleveland, Ohio, U.S.A.
3. Atomcell Safety Report, NB-531 (Addendum 2), June 1973,  
Nuclear Battery Corp., Columbia, Maryland, U.S.A.
4. G.J. Wick ed., "Plutonium Handbook" Gordon & Breach, Science  
Pub., N.Y., 1967.
5. ע. שטרן, ד. אנליי, מ. דפס  
" ריחוק טנטלום , NRCN ~~364~~ , קמג 1974 .
6. P.A. Kammer, R.E. Monroe, D.C. Martin, " Some Preliminary  
Weldability Evaluations of Tantalum Alloys", Refractory Metals  
& Alloys III, Gordon & Breach, 1965, 365.
7. 1964 Book of ASTM Standards, Part 31, American Society for  
Testing and Materials, 1916 Race St, Philadelphia 3, Pa., U.S.A.
8. J. Nutting & R.G. Baker, "The Microstructure of Metals",  
Inst. of Metals, Monograph and Raport Series No.30, 1965.
9. E.A. Taylor, "Inert-gas welding of non-ferrous metals",  
Metallurgical Reviews N<sup>o</sup> 116, 12 (1967), 109.
10. P.A. Kammer, R.E. Monroe, D.C. Martin, "Weldability of  
Tantalum Alloys", Welding Research Supplement, ~~-51-~~ (1972),  
304-s
11. M. Hansen, "Constitution of Binary Alloys", McGraw-Hill,  
New York, 1958.