

# סיכוני גיהות בשיי טונגסטן המכילות בתהליך ריתוך

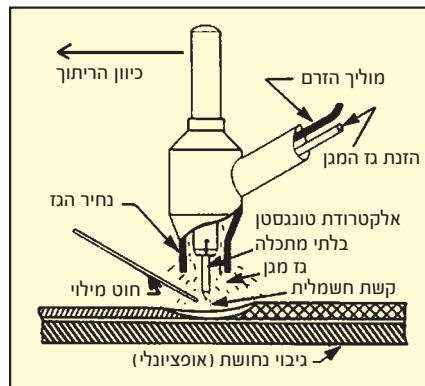
נתונים טכניים ומדעיים מלמדים כי תחמוצת התוריום, המשמשת לעתים באלקטרודות טונגסטן, בתהליכי ריתוך בגז מגן G02, היא חומר רדיואקטיבי. נוכחותה בסגסוגת האלקטרודה לריתוך עלולה לחשוף את העובד לסיכוני בריאות

מאת מהנדס יעקב דודזון

מתפתח חום. חום זה מספק את "האנרגיה לניתוק האלקטרונים" (work function) מקצה האלקטרודה, כאשר זו משמשת כקתודה בעת הריתוך בזרם ישר, בקוטביות ישרה (DCEN - Direct Current Electrode Negative) (Straight Polarity).

האלקטרודה, העשויה מטונגסטן טהור, צריכה להגיע לטמפרטורת ההתכה של הטונגסטן, כדי לאפשר את הפליטה התרמו-יונית (thermionic emission). עם ההתכה, קצה האלקטרודה מתעצב בצורה כדורית המאפשרת פליטה אחידה ויציבה של אלקטרונים משטח הפנים הכדורי.

## אלקטרודת הריתוך



עקרונות הריתוך בגז מגן (TIG)

תהליך הריתוך בגז מגן עם אלקטרודות טונגסטן בלתי מתכלות נפוץ בעיקר בריתוכי אלומיניום, פלבי"ם, סגסוגות של פלדות מיוחדות, טיטניום וסגסוגותיו ועוד. להגדלת הגמישות בבחירת הפרמטרים לתהליך הריתוך וכן לצורך שיפור איכות הריתוך הוכנסו לשימוש, לצד אלקטרודות מטונגסטן טהור, גם אלקטרודות מסגסוגות של טונגסטן, ביניהן אלקטרודה מסגסוגת המכילה תחמוצת תוריום. הנתונים הטכניים והמדעיים מלמדים כי תחמוצת התוריום היא חומר רדיואקטיבי. נוכחותה בסגסוגת האלקטרודה לריתוך, כאמור, עלולה לחשוף את העובד לסיכוני בריאות. מאמר זה מציג את הבעיה כולל הרקע העיוני וכן מציע אלטרנטיבות לפתרון ולהימנעות מהסיכון.

## עקרונות הריתוך בגז מגן - TIG

בטכנולוגיית הריתוך בגז מגן משתמשים באלקטרודה "קבועה" (לכאורה - בלתי מתכלה = non-consumable electrode), המשמשת להצתת הקשת החשמלית ולקיומה בכל משך הריתוך. השמפוטורה המתפתחת בקשת החשמלית משמשת להתכת החומר המרותך, וכן להתכת תוסף "תיל המילוי" - במידת הצורך וכפי שהתהליך מוכתיב.

אזור הקשת והריתוך מוקף ומוצף בגז אינרטי (בד"כ ארגון) המשמש כגז מגן, למניעת התופעה של התחמצנות מוגברת באזור הריתוך, ובמטרה לייצב את קשת הריתוך.

האלקטרודה עשויה מטונגסטן (או סגסוגת של טונגסטן) - מתכת עמידה בטמפרטורות גבוהות, ולכן הבלאי שלה נמוך יחסית. זהו מקור השם שלפיו מוכר התהליך בין טכנולוגיית הריתוך השונות: Tungsten Inert Gas - TIG. (הטונגסטן מוכר גם בשמו הכימי וולפרם - Wolfram וסימונו בטבלת החומרים - W).

## הפיזיקה של הקשת החשמלית

בתהליך הפיזיקלי של יצירת הקשת החשמלית לצורך הריתוך - עם הזרמת זרם החשמל (זרם הריתוך) ועקב ההתנגדות החשמלית -

הכותב הוא מהנדס מכונות, מוסמך בניהול הנדסת בטיחות, וכן, עו"ד המתמחה בנושאי דיני הבטיחות

מרחבי"ם) סביב קצה הקתודה. כאשר בקירבת קצה הקתודה (האלקטרודה) נמצאת אלקטרודה נוספת, עם פוטנציאל חשמלי גבוה יותר (בד"כ - העוֹבֵד המיועד לריתוך), יתחילו האלקטרונים לזרום לכיוון העוֹבֵד. זרימת האלקטרונים יוצרת את הקשת החשמלית ומייצבת אותה.

## סיכונים לבריאות בחשיפה לתוריום

כבר שנים רבות שהאלקטרודות מסגסוגות טונגסטן לריתוך בגז מגן, המכילות 2% תחמוצת תוריום (Thorium), הן מהסוגים היותר נפוצים בריתוך TIG. בשנים האחרונות התעוררה סוגיית הסיכונים לבריאות הנובעים מחשיפה ליסוד "תוריום" המצוי באלקטרודה, והמוכר כחומר רדיואקטיבי שסיכוניו לבריאות מוכחים. החשיפה לתוריום היא בעיקר בנשימה (של אבק או גז), בבליעה ובספיגה דרך העור. [1]

התוריום עצמו (Th) הוא יסוד מתכתי רדיואקטיבי (חלש), הפולט קרינת אלפא (α). תוצריו (בשרשרת הפירוק הרדיואקטיבי) פולטים קרינות α, β ו-γ.

# מוש באלקטרודות תחמוצת תוריום בגז מגן - TIG

רדיואקטיבי לתוך הגוף, גם אם הוא "חלש" יחסית, משפיעה על מערכות בגוף ועלולה לפגוע באיברים פנימיים. הפגיעה עלולה להצטבר, וחומריתה עלולה להתגבר - מכיוון שהחומר הזה איננו נפלט מהגוף תוך זמן קצר ושהייתו בגוף ("משך החיים הביולוגי") היא לטווח ארוך. הסיכון הנשימתי בחשיפה לאבק האלקטרודה הוא הסיכון העיקרי והמשמעותי ביותר לבריאות שיוצר החומר, ופעילות המניעה חייבת, לפיכך, לתת עדיפות ראשונה למניעתו.

## מעקב רפואי

לצורך המעקב הרפואי לעובדים החשופים לאבק תחמוצת התוריום מומלץ לבצע ניטור ביולוגי לסימנים ולשינויים מוקדמים, כגון רמת הלוקוציטים בדם. במקרים של חשיפה אקוטית (תאונה) או כרונית (מתמשכת) - ניתן לבצע בדיקה לקביעת רמת התוריום בשתן (מומלצת בדיקה רדיו-טוקסיקולוגית, שתיערך במועד סמוך לאירוע החשיפה); בדיקת קרינה כל-גופית או בדיקה ומדידה של ראדון בנשימה.

## הגנה על הגוף

כדי להגן על מערכת הנשימה מפני שאיפת האבק, בעת ריתוך עם אלקטרודות המכילות תחמוצת תוריום או השחותן - יש להגן על מערכת הנשימה באמצעות מסנן המתאים לסינון אבק דק, או מסנן לסינון גזים חומציים, או מסיכה עם אספקת אוויר בלחץ חיובי. הבחירה בין האמצעים תלויה בשיטת העבודה ובמשך הזמן הנדרש לביצוע העבודה. בכל מקרה, האמצעים הם אלה שאושרו בתקנים מוכרים, כגון תקני ה-NIOSH, תקנות 29 CFR 1910.134, ו/או בתקנים מקבילים שווי ערך.

מומלץ שימוש בביגוד מגן אישי (בגדי עבודה השייכים אך ורק לעובד), בכפפות למניעת מגע עם החומר והצטברות אבק על העור. יש להקפיד להסיר את הבגדים מיד לאחר העבודה, להתרחץ היטב, להחליף לביגוד נקי ולכבס את הביגוד המאובק במסגרת מקום העבודה ולא להביאו לכביסה בבית העובד.

## הגנה סביבתית

בתהליכי ריתוך עם אלקטרודות טונגסטן-תוריה ובהשחותן מומלץ להשתמש גם באמצעים להגנה על הסביבה. אמצעי ההגנה המומלצים בהשחזה הם מערכת יניקה סביב אופן ההשחזה, בנוסף לאיוורור הכללי בחדר. לצורך הגנה על הנשימה בתהליך הריתוך - יש להתקין ולהפעיל מערכת איוורור או יניקה מקומית בעמדת הריתוך. מומלץ שהמערכות והתקנתן יהיו על-פי תקן: 29 CFR 1910, ותקן: ANSI Z49.1 לבטיחות בריתוך וחיתוך.

## דרכים למניעת הסיכון

קיימות מספר דרכים וגישות למניעת סיכונים הגיהות בחשיפה לתוריום (הרשימה - בסדר עדיפויות יורד, עפ"י המלצת מחבר המאמר):  
1. הימנעות משימוש באלקטרודה המכילה את תחמוצת התוריום והעדפת אלקטרודות חלופיות;

**תחמוצת התוריום:** מופיעה כמוצק או כאבקה גבישית לבנה. טמפי ההיתוך שלה היא 3390°C וצפיפותה 9.7 גרם/סמ"ק. התחמוצת ידועה כחומר מסרטן, ומוכרת על-ידי משרד הבריאות האמריקאי (NTP - National Toxicology Program) וע"י הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן (IARC - International Agency for Research on Cancer) כ-"חומר מסרטן לבני אדם" (human carcinogen confirmed). השפעותיה על הבריאות דומות לאלה של היסוד תוריום. [2]

**סיכוני קרינה:** מחקרים בנוגע לסיכוני הקרינה הנוצרת בשימוש באלקטרודה המכילה תוריום, מלמדים כי הסיכונים עקב קרינה חיצונית - במהלך אחסון, ריתוך או פינוי פסולת האלקטרודות - הם סיכונים זניחים בתנאי עבודה ובשימוש רגיל. התוריום נמצא תחת פיקוח וברישוי של הוועדה לאנרגיה אטומית בארה"ב (NRC). התקנות לפינוי מבוקר של פסולת רעילה בארה"ב מחייבות פינוי מוסדר של שאריות אלקטרודות מסגסוגות טונגסטן מהסוג המכיל תחמוצת תוריום.

**סיכוני נשימה:** בתהליך ההשחזה של חוד האלקטרודה נוצר אבק רדיואקטיבי, היוצר סיכון לקרינה פנימית עקב חשיפה נשימתית לאבק. הסיכון מחייב התקנת מערכות יניקה לבקרת האבק במקום היווצרותו ושימוש בציד מנן נשימתי אישי, ע"י העובד. הסיכון הנשימתי במהלך הריתוך עצמו הוא זניח, מכיוון שקצב התכלות האלקטרודה ושחרור נדפי סגסוגות מהאלקטרודה אל סביבת הריתוך נמוכים מאוד.

## חשיפה לסיכון, מעקב רפואי והגנה על העובד

תהליך הכנת האלקטרודה לעבודה כרוך, לעתים מזומנות, ובעיקר כאשר מעבדים אלקטרודות בקוטר גדול (בתקנים השונים מוגדרות אלקטרודות גם בקוטר של 10 מ"מ) בהשחזה של קצה האלקטרודה כדי להגיע לגיאומטריה המתאימה - בדרך כלל קצה קוני קטום בזווית חוד מתאימה ליישומי הריתוך. תהליך ההשחזה משחרר לאוויר, בסביבת תחנת ההשחזה, "אבק רדיואקטיבי" המכיל תחמוצת תוריום. נשימה של אבק זה עלולה לגרום סיכון ישיר לבריאות, מפני שחדירת חומר



מתכת התוריום משמשת בכורים גרעיניים להפקת דלק גרעיני. במתכת ובתחמוצותיה משתמשים כמעטה מתלהט וכחומר לסגסוג, בעיקר עם מתכות קלות, כגון מגנזיום; כחומר ציפוי לחוטי להט כגון בנורות ליבון ובשפופרות ואקום; כחומר מאיץ (קטליזטור) בסניטוזות אורגניות; כחומר עזר בייצור חומרים קרמיים; כחומר מאיץ באלקטרודות ריתוך.

התוריום נשאר בגוף לאחר חדירתו למשך זמן ארוך, והשפעתו על הבריאות ממושכת. החומר מצטבר בעיקר בעצמות, בריאות, בבלוטות הלימפה וברקמות אחרות בגוף. תופעות המוכרות ככאלה הנגרמות ע"י התוריום וסגסוגותיו הן: שינויים בתהליכי יצירת הדם, שינויים במערכת העצבים ושינויים מבניים (מורפולוגיים) ונזקים ברקמות הריאה ובעצמות. סימנים למחלת קרינה, עם אפשרות לפגיעה במערכת החיסונית של הגוף, מופיעים רק לאחר זמן ממושך של חשיפה מתמשכת (כרונית). המתכת תוריום עצמה מוכרת ומוזכרת רבות בספרות המקצועית כ-"חשודה כמסרטנת" (suspected carcinogen).

# אלקטרודות טונגסטן - סוגים

## אלקטרודת טונגסטן-לנטן

סימון לפי AWS: EWL-La-X;

צבע הסימון לפי % תחמוצת הלנטן בסגסוגת.

אלקטרודה עם התחמוצת לנטן (לנטנה -  $La_2O_3$ ) כחומר מסגסג. ניתן להשיג את האלקטרודה בתכולה שונה של תחמוצת הלנטן בסגסוגת. היתרונות ומאפייני העבודה דומים מאוד לאלה של אלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-צריה. גם תחמוצת הלנטן אינה מוכרת כחומר מסוכן.

● EWL-La-1 - צבע סימון שחור; WL-10 - צבע סימון שחור

אלקטרודה המכילה תחמוצת לנטן בשיעור של 0.8%-1.2% ממשקלה. היתרונות, מאפייני העבודה והשימוש דומים מאוד לאלה של אלקטרודת טונגסטן-צריה - EWCe-2.

● EWL-La-1.5 - צבע סימון זהב

האלקטרודה מכילה תחמוצת לנטן "מפוזרת" (dispersed lanthanum oxide) בשיעור שבין 1.3%-1.7% ממשקלה. הרכב זה מאפשר הצתה משופרת ויציבות רבה של הקשת. קצב הבלאי של חוד האלקטרודה בהרכב זה נמוך, וטווח זרמי העבודה רחב יותר. מאפייני העבודה של האלקטרודות האלה דומים מאוד לאלה של האלקטרודות המכילות 2% תחמוצת תוריום הרדיואקטיבי, והן יכולות להחליף אותן ביעילות רבה.

האלקטרודות הללו ישימות בזרם ישר (בקוטביות ישרה - אלקטרודה שלילית) ובזרם חילופין.

● EWL-La-2 - צבע סימון כחול

האלקטרודה מכילה בין 1.8% עד 2.2% משקלי של תחמוצת הלנטן ( $La_2O_3$ ). תכונותיה דומות לאלה של האלקטרודה (EWL-La-1.5 זהב), אך התכולה הגבוהה יותר של הלנטן משפרת את תכונות העמידות לבלאי, את יציבות הקשת ואת טווח הזרמים לעבודה.

## אלקטרודת טונגסטן-תוריום

סימון לפי AWS: EWTh-X;

צבע הסימון לפי % תחמוצת התוריום בסגסוגת.

האלקטרודה מורכבת מסגסוגת של טונגסטן עם תחמוצת התוריום ( $ThO_2$ ) הידועה בשם תוריה (thoria). תחמוצת התוריום בסגסוגת, בכל ההרכבים, תורמת

## אלקטרודת טונגסטן טהור

הסימון לפי AWS: EWP - ירוק;

לפי ISO: WP - ירוק.

אלקטרודה ללא חומרי סגסוג (99.5% טונגסטן לפחות). יכולת העברת הזרם באלקטרודה מסוג זה נמוכה יחסית - בהשוואה לאלקטרודה מסגסוגת הטונגסטן. היא יוצרת קשת יציבה, טובה, בזרם חילופין - הן בגל מאוזן (balanced wave) והן בקשת מיוצבת בתדר גבוה (high frequency continuously stabilized). ניתן להשתמש בה גם בזרם ישר, ובשימוש בגזי מגן מסוג: ארגון, הליום או תערובת שלהם. קצה האלקטרודה כדורי, והוא מועדף בריתוכי אלומיניום ומגנזיום. לאלקטרודה יש התנגדות סבירה לזיהום תפר הריתוך ע"י הטונגסטן (למרות שלאקטרודות המסוגלות יש עדיפות גם בהיבט הזה). השימוש באלקטרודת טונגסטן טהור הוא, בד"כ, ביישומים שבהם אין חשיבות רבה לאיכותו של הריתוך. בריתוך של אלומיניום או מגנזיום, כאמור, יש עדיפות לאלקטרודה הזאת.

## אלקטרודת טונגסטן-צריה

הסימון לפי AWS: EWCe-2 - כתום;

לפי ISO: WC-20 - אפור.

האלקטרודה מכילה כ-2% תחמוצת צריה ( $CeO_2$ ) כחומר סגסוג. מוכרות גם אלקטרודות המכילות תחמוצת צריה בהרכבים אחרים, אך הסגסוגת המכילה 2% צריה היא השימושית ביותר ביישומים מעשיים וטכניים, ולכן רק היא מוגדרת וכלולה בתקנים האמריקאיים.

יתרונותיה של האלקטרודה הזאת, בהשוואה לאלקטרודה מטונגסטן טהור הם: הצתה קלה יותר של הקשת, יציבות משופרת של הקשת וקצב התכלות איטי יותר. היתרונות האלה גדולים עוד יותר כאשר אחוז הצריה בסגסוגת גבוה יותר. אלקטרודת טונגסטן-צריה יעילה בזרם חילופין ובזרם ישר, הן בקוטביות ישרה (אלקטרודה שלילית) והן בקוטביות הפוכה (אלקטרודה חיובית). מכאן יעילותה בתחומי שימוש רחבים ורב-תכלתיים. תחמוצת הצריה איננה חומר רדיואקטיבי ואיננה מוכרת כחומר מסוכן.

2. הימנעות מהשחזת עצמית של האלקטרודה ורכישת אלקטרודות מושחזות מראש, במידת האפשר;

3. שימוש במינדף מתאים ובציוד מגן נשימתי אישי בעת השחזת האלקטרודה. מומלץ לבצע את ההשחזת באמצעות מיתקן ייעודי להשחזת אלקטרודות. מיתקן כזה מבטיח את איכות ההשחזת, ומקל על ניקת האבק והבקרה על האבק המסוכן שנוצר בהשחזת; 4. ביצוע עבודות ריתוך בתחנת עבודה המצוידת במינדף מתאים, שימנע הצטברות נדפי ריתוך ובעקבותיה, חשיפה נשימתית לאדים המסוכנים. את האמצעי הזה יש לנקוט בכל עמדת עבודה קבועה לריתוך, ללא קשר לסיכון הייחודי המתואר כאן;

5. שימוש בציוד מגן נשימתי אישי בעת הריתוך. הציוד צריך להתאים למאפייני הריתוך, לתכיפותו ולחומרים נוספים המשתתפים בתהליך; 6. איסוף כל השאריות של אלקטרודות המכילות תחמוצת תוריום ופינוץ כפסולת מסוכנת.

בחירת דרך המניעה המועדפת, בארגונים אשר משתמשים באלקטרודות טונגסטן-תוריום, תיעשה עפ"י שיקוליהם של גורמי הניהול, בעצה אחת עם גורמי הבטיחות.

המלצתו של מחבר המאמר, מהנדס יעקב דודזון, לפתרון סוגיית הסיכון הנובע מהמרכיב הרדיואקטיבי שבאלקטרודה היא לאמץ את "הפתרון האולטימטיבי" - להימנע משימוש באלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-תוריה ולעשות שימוש באלקטרודות חלופיות (ראו מסגרת). ההמלצה הזאת תואמת לגישה של אגודת הריתוך האמריקאית - AWS וארגון התקינה הלאומי האמריקאי - ANSI, המציינים במסמך משותף כי: "התוריום הוא חומר רדיואקטיבי ומהווה סכנה בחשיפה פנימית וחיצונית. אם מבחינה טכנית השימוש בחלופות הוא אפשרי - יש ליישם את החלופות האלה".

## התאמת חלופה לאלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-תוריה

מבין האלקטרודות המיוצרות על בסיס הטונגסטן וסגסוגותיו ניתן להצביע על 2 חלופות נבחרות אפשריות:-

● אלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-צריה, בתכולה של 2% תחמוצת צריה, (סימון אמריקאי עפ"י AWS: EWCe-2, בסימון כתום. או סימון לפי ISO: WC20 בסימון אפור).

ביישום לריתוך בזרם ישר - מקובלת האלקטרודה לטווח זרמים נמוך יחסית. האלקטרודות מסוג זה מיועדות, בד"כ, ליישומי ריתוך כלליים.

● אלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-לנטן, בתכולה של 1.5% תחמוצת לנטן (לסימון האמריקאי עפ"י AWS: EWL-La-1.5, בצבע סימון זהב אין סימון מקביל עפ"י תקן ISO). תכונותיה הבסיסיות ומאפייני העבודה של האלקטרודה

- תכונות המוליכות ומאפייני הביצועים דומים לאלה של סגסוגת טונגסטן-תוריה בתכולה של 2% תוריה. לפיכך, ההחלפה עשויה לאפשר עבודה ללא שינוי בתכנית הריתוך ובפרמטרים שלו;
- הצתת הקשת קלה יותר;
- שרידות האלקטרודות ארוכה יותר. ניתן לבצע באמצעותן מספר רב יותר של הצתות קשת בבלאי מיזערי.

**המלצה:** מתכת התוריום מוכרת ומוזכרת בספרות כ-"חשודה כמסרטת". תחמוצת התוריום, ידועה כ"חומר מסרטן לבני אדם".

הזאת מצביעים על היותה חלופה יעילה לאלקטרודות מסגסוגת טונגסטן-תוריה (EWTh-2, בצבע סימון אדום).

עפ"י הפרסומים המסחריים של יצרני האלקטרודות הללו, נערכו ניסויים מעשיים באלקטרודות המכילות 1.5% תחמוצת לנטן. הניסיון המצטבר בשימוש באלקטרודות האלה מצביע, לדברי הפרסומים של היצרנים, על הביצועים הבאים:-

■ האלקטרודה מתאימה ליישום, הן בזרם ישר והן בזרם חילופין;

לקצב בלאי נמוך ולשרידות ארוכה יותר של האלקטרודה, בהשוואה לאלקטרודת טונגסטן טהור - הודות לפליטת אלקטרונים גבוהה יותר, הדלקת קשת קלה וייצבות משופרת של הקשת. אורך החיים של האלקטרודות האלה וההתנגדות לזיהום תפר הריתוך בטונגסטן גבוהים יותר. הסיכונים לבריאות בחשיפה לתחמוצת התוריום הרדיואקטיבית, המסוכנת, מפורטים בהרחבה במאמר.

● **EWTh-1 - צבע סימון צהוב;**  
**WT10 - צבע סימון צהוב**

אלקטרודות המכילות 0.8% עד 1.2% משקלי של תחמוצת תוריום. הן תוכננו, במקור, ליישומי ריתוך בורם ישר. תחמוצת התוריום מפוזרת באופן אחיד לאורך כל האלקטרודה ושומרת ביעילות על קצה מחודד - הנדרש והמועדף בריתוך פלדות. ניתן להשתמש בהן גם בורם חילופין, אך בריתוך בורם כזה לא נשמר קצה חוד כדורי, הנדרש בריתוך של מתכות אל-ברזליות.

● **EWTh-2 - צבע סימון אדום;**  
**WT20 - צבע סימון אדום**

האלקטרודה מכילה 1.7% עד 2.2% משקלי של תחמוצת תוריום. השימוש באלקטרודה הזאת מאפשר ביצועים משופרים יותר, בהשוואה לאלה של אלקטרודת EWTh-1 (ככל שכמות תחמוצת התוריום בסגסוגת גבוהה יותר - תכונותיה של האלקטרודה משופרות יותר).

בשימוש באלקטרודה מסגסוגת טונגסטן-תוריה לריתוך בורם חילופין - נדרש, ועדיף, קצה כדורי לחוד האלקטרודה. ניתן "לבנות" לאלקטרודה קצה כדורי ע"י ריתוך קצר וזהיר בורם ישר ובקוטביות הפוכה (אלקטרודה חיובית). כאשר משתמשים באלקטרודה שהוכנה בשיטה הנייל לריתוך בורם חילופין - הקצה הכדורי איננו מותך ושומר על צורתו, אך כאשר הקצה לא מותך - קצב פליטת האלקטרונים מחוד האלקטרודה טוב פחות מזה הנפלט מקצה כדורי מותך (כפי שמתקיים באלקטרודה מטונגסטן טהור). כך שבריתוך בורם חילופין, לאלקטרודת טונגסטן טהור יש עדיפות, מההיבט הזה, על אלקטרודת התוריה. **(הערה: בעבר היה מקובל להשתמש גם באלקטרודות מסגסוגות טונגסטן-תוריה עם כמויות תוריה נמוכות**

מ-1% או גבוהות מ-2%, ולכן קיים עדיין עברון סימון תקני לפי התקנים השונים. כיום, השימוש באלקטרודות האלה בתעשייה נפוץ פחות).

## אלקטרודת טונגסטן-צירקוניום

**סימון לפי AWS: EWZr-1 - צבע סימון חום;**  
**לפי ISO: WZ10 - צבע סימון חום**

האלקטרודה היא סגסוגת של טונגסטן עם 0.15%-0.50% משקלי של תחמוצת צירקוניום ( $ZrO_2$ -צירקוניה). האלקטרודה יעילה במיוחד בריתוכים שבהם נדרש זיהום מועט ככל האפשר בטונגסטן של תפר הריתוך. האלקטרודה יעילה במיוחד בזרמי חילופין, מכיוון שהיא שומרת על קצה חוד כדורי בעת הריתוך ויוצרת התנגדות גבוהה לזיהום תפר הריתוך.

## אלקטרודה מסגסוגת טונגסטן בתוספת חומר לא מוגדר

**סימון לפי AWS: EWG - צבע סימון אפור**

הסימון של אלקטרודה מסגסוגת טונגסטן הוא

כללי לסגסוגות טונגסטן עם מרכיבים שונים מאלה שפורטו לעיל. בכל מקרה, יצרן האלקטרודות נדרש לפרט את המרכיבים הנוספים ואת כמויותיהם עם הספקת המוצר. חומרי הסגסוג מיועדים, בד"כ, לשפר תכונות ומאפייני ביצוע של האלקטרודה שעליהם מצהיר היצרן.

הסימון בצבע יכול להופיע בצורת פס סימון, נקודה וכיו"ב, בכל מקום אפשרי ע"י האלקטרודה, בדרך כלל באחד מקצות האלקטרודה.

תוספי התחמוצות בסגסוגות השונות מפורטים בד"כ באופן אחיד בתוך מצע מתכת האם (טונגסטן). עם זאת, באלקטרודות המכונות composite electrodes, התחמוצת מצפה את ליבת האלקטרודה העשויה טונגסטן. אלקטרודה כזאת משלבת את תכונות הטונגסטן הטהור עם שיפור התכונות הנובע מתוסף התחמוצת. חסרונן הוא שעם השחזת החוד נעלמת גם שיכתב הציפוי בקצה האלקטרודה. לפי תקן ISO, אלקטרודה מסוג זה תסומן בפס סימון נוסף בצבע רוד.

פירוט תוספי סגסוגות לאלקטרודות טונגסטן, סיווג וסימון שלהן עפ"י אגודת הריתוך האמריקאית (AWS - American Welding Society) ועפ"י תקן ISO			
סימון AWS	סימון ISO	התוסף לנתך	% משקלי של התוסף
EWP ירוק	WP ירוק	אלקטרודה מטונגסטן טהור	-
EWCe-2 כתום	WC20 אפור	תחמוצת צריום ceria = cerium dioxide = $[CeO_2]$	2.2% - 1.8%
EWLa-1 שחור	WL10 שחור	תחמוצת לנטן lanthana = lanthanum trioxide = $[La_2O_3]$	1.2% - 0.8%
EWLa-1.5 זהב			1.7% - 1.3%
EWLa-2 כחול			2.2% - 1.8%
EWTh-1 צהוב	WT4 כחול	תחמוצת תוריום thoria = thorium dioxide = $[ThO_2]$	0.55% - 0.35%
EWTh-2 אדום	WT10 צהוב		1.2% - 0.8%
	WT20 אדום		2.2% - 1.7%
	WT30 סגול		3.2% - 2.8%
	WT40 כתום		4.2% - 3.8%
EWZr-1 חום	WZ3 חום		0.40% - 0.15%
EWG אפור	WZ8 לבן	תחמוצת צירקוניום zirconia = zirconium dioxide = $[ZrO_2]$ לא מפורט. על היצרן לפרט את התוסף לנתך וכמותו	0.90% - 0.70%

3. AWS - Welding Handbook, 1990, Vol. 2, Chapter 3: Gas Tungsten Arc Welding. ANSI/AWS A5.12/A5.12M - 98: American National Standard - Specifications for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting

ANSI/AWS A5.12/A5.12M - 98: (American National Standard - Specifications for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting)  
ISO 6848 - 1984[E]: Tungsten Electrodes for Inert Gas Shielded Arc Welding, and for Plasma Cutting and Welding - Codification

### מקורות:

1. ANSI/AWS A5.12/A5.12M - 98: American National Standard - Specifications for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting, # A7.4

2. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens; 3rd Edition, by Marshall Sittig, Vol. 2, p. 1558;

גיליון בטיחות (SDS) לתחמוצת התוריום, מתוך: <http://hazard.com/msds/tox/f/q134/q80.html>

לאור הסיכונים בחשיפה למתכת ולתחמוצת שלה, יחד עם האפשרות לגבי קיומו של סיכון מעשי - הנגזר מתדירות השימוש באלקטרודות מסגסוגות טונגסטן-תוריה ומהצורך החיוני בשימוש באמצעי ההגנה הנאותים - יהיה נכון להימנע לחלוטין משימוש באלקטרודות מסגסוגות טונגסטן-תוריה. מהמידע שהצגנו ניתן להסיק בבירור שאלקטרודות מסגסוגות טונגסטן-לנטן (בתכולה של 1.5% תחמוצת לנטן) הן החלופה שתהיה, כנראה, היעילה ביותר לאלקטרודות המכילות תחמוצת תוריה. זהו גם החלופה המומלצת בעדיפות ראשונה. ■