



תהליך ריתוך פלסמה (418) Plasma Arc Welding

מעודכן: פברואר 2016

תוכן עניינים

.....	
2.....	הגדרה
2.....	משימות עיקריות בתהליך ריתוך – פלסמה
2.....	א. הכנת עמדת עבודה
2.....	ב. הכנת חלקים (עובדים) לריתוך
2.....	ג. ריתוך בקשת פלסמה
4.....	אלקטרודה
4.....	פלסמה וגזי מגן
5.....	עבודות גימור
5.....	ד. הסרת סיגים
5.....	ה. בדיקות של טיב התפר
5.....	ו. שינוע חלקים
5.....	גורמי סיכון עיקריים במשימה ריתוך פלסמה
5.....	סיכונים בטיחותיים
5.....	פיזור סיגים (שלקה)
6.....	סיכוני פגיעה מחשמל
7.....	פיצוץ
7.....	סיכוני אש
9.....	מגע עם עצמים חמים
9.....	גורמי סיכון גהותיים
9.....	סיכונים פיסיקליים
10.....	שדות חשמליים ומגנטיים
11.....	חשיפה לרעש מזיק
11.....	עומס חום
12.....	חשיפה לחומרים כימיים (נדפים וגזים)
13.....	גורמי סיכון פיסיולוגיים (היבטים ארגונומיים)
14.....	מניעת מפגעים (נוהג טוב)
16.....	ביבליוגרפיה

ריתוך פלסמה - ריתוך מתכות באמצעות אלקטרודה וחום הנוצר מפלסמה של גז אינרטי מיונן בנקב בו מופעלת קשת חשמלית במתח גבוה. הפלסמה מוזרמת יחד עם גז מגן הממסך את נקודת הריתוך [1].

משימות עיקריות בתהליך ריתוך – פלסמה

א. הכנת עמדת עבודה

- ארגון עמדת העבודה לרבות פינוי האזור מחומרים דליקים, הקצאת שטח עבודה נקי, יבש, מואר ומאוורר.
- הבאת חלקים: חומרים, ציוד מגן אישי, ציוד ספציפי נחוץ (למשל ביצוע ריתוך במקום מוקף מצריך קיומם של מערכת לאספקת אוויר לרתך ומערכת יניקת אוויר מן המקום המוקף). תהליך הבאת האמצעים יבוצע לעיתים תוך שימוש באביזרי הרמה או שינוע.

עין בתהליך עזר "שינוע" מספר 444 ותקנות הבטיחות בעבודה הרלוונטיות.

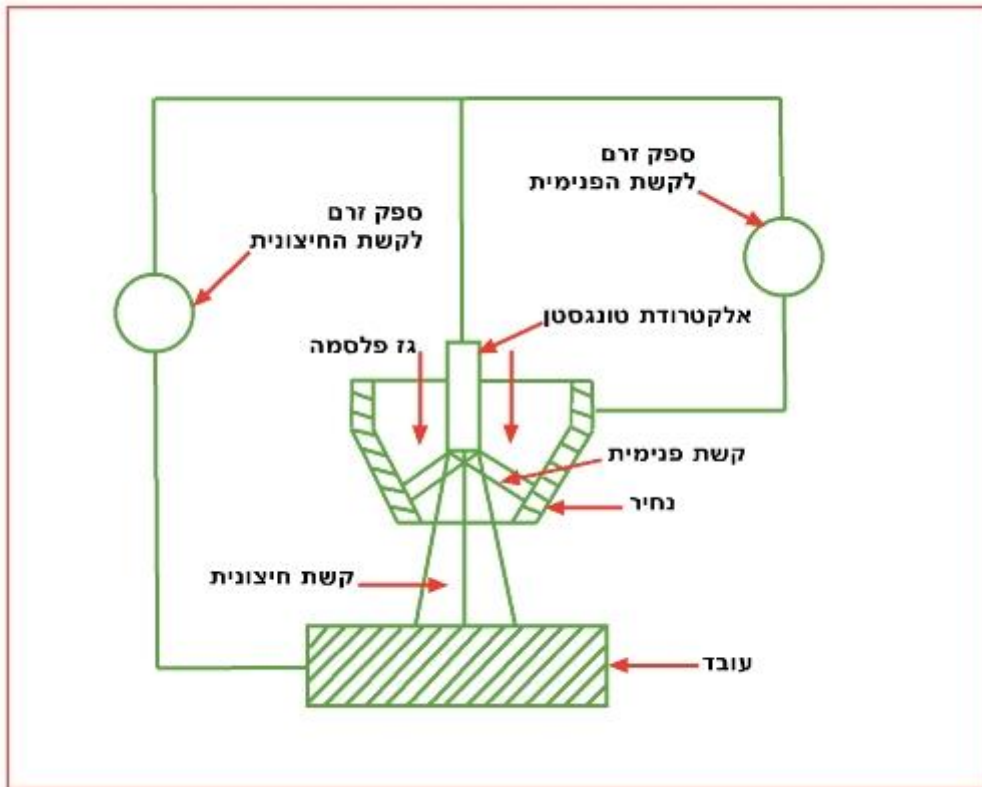
ב. הכנת חלקים (עוֹבְדִים) לריתוך

הכנת החלקים כוללת בדרך כלל ניקוי האזור המיועד לריתוך על ידי הסרת שמנים ולעתים על ידי השחזה. עיין תהליכים ("השחזה") "עיבוד אברזיבי יבש" מספר 357 ו"הסרת שומנים" מספר 183.

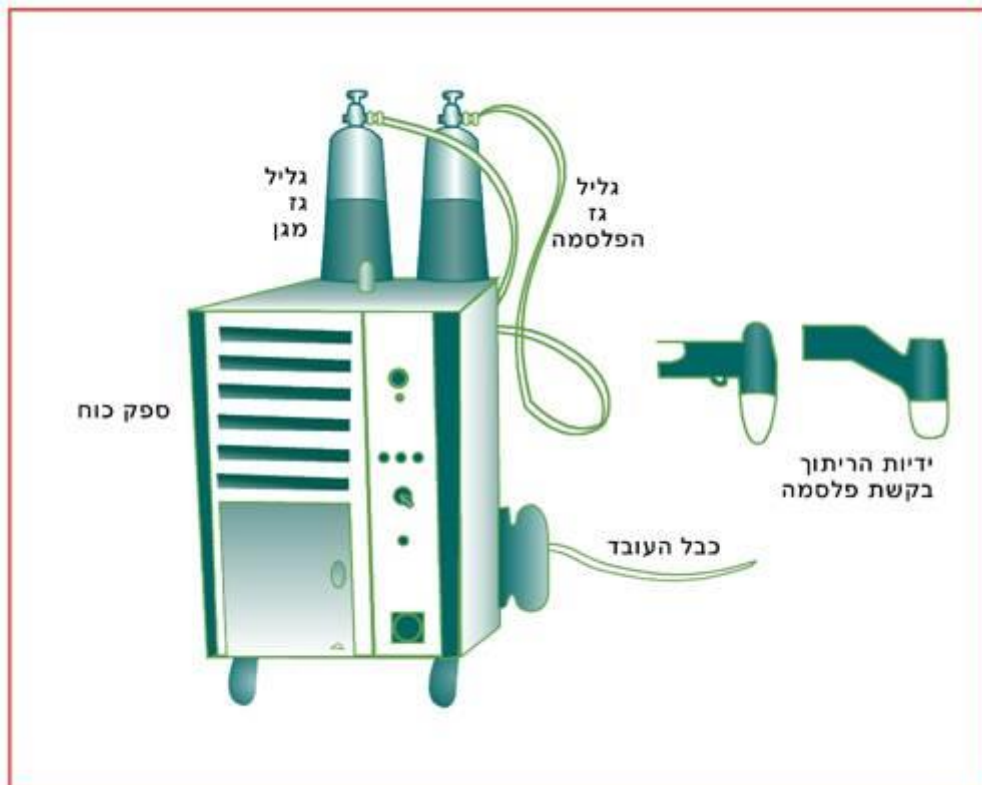
ג. תיאור תהליך ריתוך בקשת פלסמה

בתוך ידית הריתוך בוערת קשת חשמלית בין אלקטרודת טונגסטן בלתי מתכלה לבין נחיר נחושת בעל נקב קטן. קשת זו נקראת "קשת פנימית" כי היא בוערת בתוך ידית הריתוך. גז (ארגון/חנקן/אוויר דחוס) מוזרם אל תוך הנחיר, בא במגע הדוק עם הקשת, מתחמם והופך לפלסמה. (פלסמה מכנים את מצב הצבירה הרביעי של החומר המתייחס ליוני גז המוליך חשמל) [2]. קשת זו מוחזקת בתוך גוף ההצתה עד שהיא נדרשת לפעולת הריתוך, אז היא מועברת אל חלקי המתכת המרותכים [3]. הפלסמה יוצאת מהנקב שבנחיר כסילון לוחט של גז מיונן מעורב בקשת חשמלית בין אלקטרודת טונגסטן לעוֹבְדִי כפי שמתואר באיור 1. במרכז של תערובת זו מגיעה הטמפרטורה לכ- 25,000 מעלות צלזיוס. בפגוע התערובת בעוֹבְדִי, היא מתיכה וגורמת לאידוי. בהתאם לעוצמתה החשמלית של הקשת ומהירות זרימת גז הפלסמה, תרתך התערובת את

העובד 2. לעתים נעשה שימוש בחומר מילוי. במקרה זה משתמשים במוט מזין של חומר מילוי המוסף באופן ידני לגומת הריתוך.



איור 1. סכמת מעגלי הקשת הפנימית והחיצונית בשעת ריתוך בקשת פלסמה. (י. שביט: בטיחות בריתוך חשמלי, 1996).



אירור 2. ציוד ריתוך בקשת פלסמה. (י. שביט: בטיחות בריתוך חשמלי, 1996).

ניתן להשתמש בשלשה אופני הפעלה של מערכת ריתוך פלסמה על ידי שינוי בקוטר הנחיר ובקצב זרימת גז הפלסמה כפי שמפורט להלן.

- מיקרו פלסמה: 0.1 עד 15 אמפר.

ניתן ליצור קשת מיקרו פלסמה על ידי שימוש בזרמי ריתוך מאד נמוכים. עמוד הקשת החשמלית יציב אפילו במקרים של אורך קשת של עד ל-20 מ"מ.

שימוש במיקרו פלסמה נעשה לריתוך משטחים דקים (עובי מתחת ל-0.1 מ"מ) ולריתוך תילים ורשתות.

- זרם בינוני: 15 עד 200 אמפר.

במקרים בהם נעשה שימוש בעוצמות זרם גבוהות יותר (15 עד 200 אמפר), מאפייני התהליך דומים לאלה של קשת טונגסטן.

היתרונות שבשיטה זו הם כושר חדירה עמוק יותר (קצב זרימת גז פלסמה גבוה יותר) ויכולת קליטת מזהמים כולל ציפויים רבה יותר.

- Keyhole plasma: מעל 100 אמפר.

על ידי הגדלת עוצמת זרם הריתוך וקצב זרימת גז הפלסמה, נוצרת קרן פלסמה בעלת עוצמה רבה המסוגלת להשיג חדירות מלאה בתוך החומר (בדומה לריתוך לייזר או ריתוך הקרנת אלקטרונים). במהלך הריתוך, הנחיר חותך לאורך המתכת בהדרגתיות כאשר גומת הריתוך המותכת זורמת מאחור ויוצרת את התפר תחת הפעלת כוחות מתיחה משטחיים. שיטה זו שימושית כדי לרתך חלקי מתכת עבים יותר (עד לעובי של 10 מ"מ פלדה אל חלד) בפעם אחת ללא צורך בחזרה שנית על ריתוך.

אלקטרודה

האלקטרודה השימושית בריתוך בקשת פלסמה הנה אלקטרודת טונגסטן המכילה 2% תוריום.

פלסמה וגזי מגן

השילוב המקובל של גזים הנו ארגון (Ar) עבור גז הפלסמה; וארגון ביחד עם 2-5% מימן (H₂) עבור גז המגן. ניתן להשתמש בהליום כגז פלסמה אך בגלל היותו חם יותר, הוא מוריד את מהירות הזרם החשמלי המועבר דרך צינור הפלסמה.

ד. הסרת סיגים

עם סיום ביצוע הריתוך תתבצע הסרת הסיגים שהצטברו כשכבת ציפוי על פני האזור המרוחק - "לנקות את התפר". תהליך זה מבוצע בדרך כלל באופן ידני (על ידי פטיש או באמצעות השחזה). עיין תהליך "עיבוד אברזיבי יבש" מספר 357.

ה. בדיקות של טיב התפר

בדיקת טיב התפר תעשה באמצעות:

- בדיקה ויזואלית של טיב הריתוך (בדיקה חיצונית);
- בדיקת אל-הרס, למשל באמצעות קרני X-ray.

עיין תהליכים "ביקורת טיב-ויזואלי" מספר 118 ו"בדיקות אל הרס – פולטי קרינת X-ray" מספר 111.

ו. שינוע חלקים

שינוע חלקים כבדים שרותכו יעשה תוך שימוש בציוד הרמה, כולל במקרה הצורך עגורנים על פי המפורט בתקנות הבטיחות בעבודה (עגורנים מפעילי מכונות הרמה אחרות ואתתים), התשנ"ג-1992. עיין תהליך עזר "שינוע" מספר 444.

גורמי סיכון עיקריים במשימה ריתוך פלסמה**סיכונים בטיחותיים****פיזור סיגים (שלקה)****זיהוי:**

סכנת פגיעה בעור (פנים, צוואר, זרועות) ועיניו של הרתך מחתיכות סיגים חמים העפים בזמן תהליך הריתוך.

בקרה:

לצורך מניעת פגיעה עקב התעופפות סיגים מומלץ:

- א. לבצע עבודות ריתוך תוך הצטיידות במסכת רתכים. בכדי לבצע בבדיקה ויזואלית של נקודות הריתוך, , הרתך נאלץ להסיר את המסכה. בכדי למנוע את הצורך בהסרת המסכה, מומלץ כי הרתך ישתמש במסכה בעלת חלון כפול, אחד

בעל זכויות כהה ואחר בעל זכויות מגן שקופה. הרמת החלון הכהה תאפשר ראייה דרך החלון השקוף ותמנע פגיעה מחתיכות סיגים.

ב. יש לעשות שימוש בביגוד בעל שרוולים ארוכים, סינר עור, כפפות רתכים, מסכת ריתוך לכל הפנים וקובע מגן בהתאם לתקן ישראלי 4141 חלק 12 [4]. הביגוד יהיה מסוג כזה שיוריד למינימום את פוטנציאל ההצתה, הבעירה, לכידת גצים והתחשמלות. יש לקחת בחשבון שחומרי טקסטיל מהם עשוי הביגוד, אשר עברו טיפול כימי להורדת פוטנציאל הדליקות שלהם, עלולים מחד גיסא לאבד מכושרם לעכב בעירה, עקב כביסות חוזרות, ומאידך גיסא, לכלוך ושמן גם פוגע בתכונות ההגנה. לכן, יש לפעול לפי הוראות היצרן בנוגע לאופן הניקוי. בנוסף, בדים אשר עלולים לעבור התכה, עלולים להידבק לגוף העובד תוך כדי גרימת כוויות חמורות. גצים עלולים להיקלע בשרוולים מקופלים. לכן מומלץ שהשרוולים והצווארון יהיו מופשלים ומכופתרים. בנוסף מומלץ שלא יהיו כיסים בחזית הבגד. כאשר יש כיסים, עליהם להיות סגורים וריקים. מומלץ שמכנסיים ואוברולים יהיו נטולי חפתים. על המכנסיים לכסות על הנעליים, למניעת כניסת של גיצים לתוך הנעליים.

ג. להגנת העובדים הנמצאים בקירבת עמדת הריתוך, מומלץ להשתמש במסכי הפרדה ניידים או קבועים בהתאם לתקן ישראלי 5093 לשם בידוד אזור הריתוך משאר אזורי העבודה [5].

סיכוני פגיעה מחשמל

זיהוי:

הרתך עלול להיפגע כתוצאה מהתחשמלות/מכת חשמל הנובעים משימוש בזרם חשמלי לצורך הריתוך.

מכת חשמל (שוק) הנה תוצאה של מעבר זרם דרך הגוף בעוצמה הגורמת לתופעות פיזיולוגיות שליליות. חומרת המכה תלויה בכמות הזרם, משך ההופעה ומסלולו.

בקרה:

לצורך מניעת פגיעה עקב התחשמלות:

בכל שיטות הריתוך אשר בהן יש שימוש בחשמל יש להשתמש בצידוד חשמלי תקני, תקין ובדוק בהתאם לחוק החשמל ובשיטות עבודה בטוחות לפי תקנות הבטיחות בעבודות חשמל, למשל:

א. במידה שניתן, יש לבחור את שיטת השימוש בחשמל הבטיחותית ביותר. לדוגמא: באם פעולת הריתוך יכולה להתבצע הן בזרם ישר והן בזרם חילופין יש לקחת בחשבון שזרם חילופין מסוכן יותר לאדם במקרה של מכת חשמל

מבחינת עוצמת הפגיעה. לפיכך השימוש בזרם ישר מועדף בבצוע עבודות ריתוך.

ב. על מנת להקטין את סכנת ההתחשמלות בריתוך המבוצע עם זרם חילופין אין להשתמש ישירות בזרם מרשת החשמל אלא יש להפריד בין מעגל רשת החשמל למעגל הריתוך על ידי שימוש בשנאי ריתוך. שימוש בשנאי יאפשר עבודה במתח נמוך (עד 120 וולט למערכות נייחות ועד 36 וולט למערכות ניידות) [6].

ג. מעגל הריתוך יהיה מוארק. הרתכת תהיה מוארקת.

ד. מערכת הריתוך תיבדק תקופתית על ידי חשמלאי מוסמך. הבדיקות תתועדנה ותשמרנה.

פיצוץ

זיהוי:

קיימת סכנה של פיצוץ בעקבות טיפול לא נאות בגלילי הגז.

בקרה:

- א. יש לסמן גלילים מיטלטלים לגזים בהתאם לתקן ישראלי 712 חלק 7 [7].
- ב. כל הציוד המשמש לריתוך חייב לעמוד בדרישות התקן הישראלי 1858 חלק ב' [8].
- ג. צבע גלילי הגז והצנרת המובילה גז צריכים להיות לפי ישראלי 712 [9].
- ד. האחסנה, השימוש והטיפול בגלילי הגז יש לבצע בהתאם ל- NFPA 55 [10].
- ה. הפרדת גלילי גז המכילים גזים העלולים להגיב ביניהם תבוצע בהתאם ל- NFPA 55.
- ו. יש לאסור עישון וביצוע עבודות עם אש גלויה ליד גלילי הגז.
- ז. מומלץ לסגור את ברז מיכל הגז כל אימת שמסיימים עבודת ריתוך. יש להתייחס להוראות המופיעות בתקן ישראלי 637 [11].
- ח. אחסנת גלילי הגז תהיה כך שלא ייחשפו לסיכוני פגיעה פיזית, התחממות, הרחק ממעליות, מדרגות ומעברים ומסיכון של נפילת חפצים עליהם.
- ט. גלילי גז יאוחסנו כשהם מאונכים וקשורים בחבקים או בעזרת סוללה.
- י. יש להפריד באחסנה בין אזור אחסון גלילי גזים מלאים לריקים.

סיכוני אש

זיהוי:

ריתוך בסמוך לחומרים דליקים עלול לגרום להתלקחות, במיוחד כשמדובר בחומרים דליקים בעלי נקודת הבזקה נמוכה מטמפרטורת החדר וכן במצבים בהם מבצעים ריתוך בסמוך לתהליכי ייצור או שימוש בחומרים דליקים. חלקיקים חמים עלולים להגיע לחומרים הדליקים ולגרום לפרוץ שריפה.

בקרה:

א. עבודה לפי נוהל "בטיחות בעבודות חמות" המבטיח נקיטת אמצעי הגנה וזהירות למניעת היווצרות מצב בו תתאפשר התלקחות של חומרים דליקים במהלך בצוע תהליך הריתוך. נוהל זה יכול התייחסות לאמצעי זהירות ומגן שיש לנקוט לפני התהליך.

ב. דוגמא לנוהל עבודות חמות ניתן למצוא בתקן ישראלי 4348 : מניעת שריפות בעת ריתוך, חיתוך ועבודות אחרות בחום, מכון התקנים הישראלי, 2004 וב-NFPA 51B [13,12].

ג. לדוגמא: הרחקת חומרים דליקים מהאזור, ניקוי מכלים/צנרות המכילות חומרים דליקים, הזרמת גז אדיש (אינרטי) להורדת ריכוזי חמצן (בעת הצורך), בדיקה באמצעות גלאים ניידים שלא קיימת אווירה נפיצה באזור המיועד לריתוך, מיקום אמצעי כיבוי אש לרבות מטפים, צינורות כיבוי ומזנק, הרחקת גלילי גז מהאזור וכיוצא בזה.

ד. בנוסף יש צורך בהצבת צופי אש לזיהוי מיקום נפילת הגצים. במידה והוחלט שלא להעמיד צופה אש, יש צורך בבדיקה סופית לאחר ביצוע הריתוך ע"י ממונה העבודה. הביקורת צריכה להיעשות כשעה לאחר סיום פעולת הריתוך. יש לשקול ביצוע ביקורות נוספות במקרים בהם יש חשש לבעירה נסתרת. צופי אש צריכים לעבור הכשרה בנוגע להליך הדיווח ונוהל חירום.

ה. יש להקפיד על שמירת מרחק הפרדה בין תהליך הריתוך לחומרים דליקים (לפחות 11 מטר) מומלץ להעביר את העבודה למקום בטוח כשקיימים סיכונים אש, או לחילופין לפנות מאזור העבודה את כל החומרים (והציוד) הדליקים. במקרה שבו הרצפה עשויה חומר דליק, מומלץ להעביר את מקום העבודה למקום אחר. אם לא ניתן, יש להגן עליה ע"י כיסוייה בחומר שימנע את דליקתה כגון חול לח, או לוח מתכת. במקרה כזה, חייבים למנוע סיכונים התחשמלות.

ו. כל הפתחים ברצפה ובקירות ברדיוס של 11 מטר ממקום הריתוך, שעלולים לחשוף אזורים סמוכים (שמכילים חומרים דליקים) ע"י מעבר הגיצים דרכם, צריכים להיות מכוסים, על מנת למנוע מגיצים להגיע לאזורים אחרים בעלי פוטנציאל דליקות.

- ז. יש לפנות חומרים דליקים הסמוכים לצד השני של קיר, לוח מתכת, תקרה או גגות, או שבמגע עם צנרת, יש סיכון של הצתתם ע"י מעבר חום.
- ח. אמצעי כיבוי אש חייבים להיות ממוקמים בסמוך לאזור הריתוך.
- ט. פעולות הריתוך צריכות להתבצע תוך כדי לבישת כפפות עמידות אש. הכפפות צריכות להיות יבשות ומבודדות למניעת סכנת התחשמלות.

מגע עם עצמים חמים

זיהוי:

הרתך עלול להיפגע מכוויות כתוצאה ממגע עם מתכת חמה.

בקרה:

- א. חובה להשתמש בביגוד בעל שרוולים ארוכים, מכנסיים ארוכים, סינר עור, כפפות רתכים, מסכת ריתוך לכל הפנים וקובע מגן. הביגוד יהיה מסוג כזה שיוריד למינימום את פוטנציאל ההצתה, הבעירה, לכידת גיצים והתחשמלות בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז – 1997.
- ב. במידה ויש סיכון שעובדים אחרים יבואו במגע עם החלקים החמים, יש לשלטם בשלט אזהרה.
- ג. יש להפריד את אזור הריתוך משאר אזורי העבודה, על מנת למנוע לבטח מגע של עובדים לא מורשים בחלקי ריתוך חמים.

סיכונים גהותיים

גורמי סיכוןפיסיקליים

קרינה

זיהוי:

מבטים שך הרתך לאזור הריתוך בזמן פעולת הריתוך עלול לגרום לנזק לראייה עקב חשיפה לקרינה בתחום הנראה (Visible), האינפרא-אדום (IR) והאולטרא-סגול (UV) [14].

כיוון שתוריום הנה מתכת רדיואקטיבית במידה מזערית, יש לנהוג בזהירות במהלך שימוש באלקטרודת טונגסטן.

הערכה:

המקור העיקרי לקרינה על-סגולה (Ultra Violet radiation (UV)) בתהליך ריתוך - פלסמה הנו בקשת החשמלית.

המקורות לקרינה תת-אדומה – (IR) Infrared Radiation) בתהליך הזה הנו בחלקי מתכת חמה.

בקרה:

א. בעת ביצוע עבודות ריתוך חובה להשתמש באמצעי מיגון אישיים - במסכת רתכים או משקפי מגן עם הגנה צדדית כולל זכוכיות מגן עפ"י תקן ישראלי 1283-00-00-0 השימוש במשקפיים או במסכה מיוחדת מיועדת למבצע הריתוך וכן לעובדים הנמצאים בקרבת מקום [15].

ב. מספר הכהות של העדשות/זכוכיות המגנות על העיניים נקבע על פי דרגת ההיחלשות הנראית לעין [16]. מספר הכהות מציין את כמות האור הניתנת למעבר דרך העדשות כך שככל שהמספר נמוך יותר, כך העדשה מסננת פחות אור הנפלט מן הקרינות השונות [17]. מספר הכהות מציין את דרגת הכהות המסופקת על ידי עדשות נתונות כאשר הרתך בוחר לעצמו את המספר הנוח לו ביותר ושמקנה ראייה טובה בעת ביצוע תהליכי ריתוך מסוגים שונים [18].

ג. למניעת פגיעה בעובדים ובעוברי אורח בסמוך לעמדות הריתוך, מומלץ לבודד את אזור הריתוך על ידי מחיצות קבועות או ניידות העשויות חומרים בלתי בעירים ובלתי מתלקחים בהתאם לתקן ישראלי 5093. במידה ואין מחיצות, יש להורות באמצעות שילוט ונהלים על לבישת ביגוד מגן ואמצעי הגנה על הפנים והעיניים. על המחיצות לאפשר החלפות אוויר בגובה הרצפה ומעל לגובה המחיצה.

ד. שימוש באלקטרודות טונגסטן נטולות תוריום (באם קיימת אפשרות כזו). קיימות חלופות כמו שימוש באלקטרודות טונגסטן המכילות זירקוניום (Zr), לנטנום (La) וציריום (Ce). השימוש באלקטרודות טונגסטן המכילה 2% תוריום עדיף מאשר זו המכילה 4% תוריום [19].

ה. אחסון אלקטרודות טונגסטן המכילות תוריום יעשה תוך הגנה בפני קרינה מייננת.

שדות חשמליים ומגנטיים

זיהוי:

שדות חשמליים ושדות מגנטיים נוצרים כאשר נעשה שימוש בחשמל. שדות אלה נוצרים כאשר נעשה חיבור לחשמל על ידי מוליכים חשמליים, או מופעל ציוד חשמלי. שדות בעלי תדירות נמוכה מ- 300 Hz המכונה (ELF) Extremely Low Frequency [20].

חשיפות תעסוקתיות של ELF בטווח שבין 1-300 Hz לא יכולות לעבור את הערך גג המחושב בעזרת המשוואה:

$$BTLV = 60/f$$

כאשר f זהו התדר הנתון בערכי Hz, BTLV זהו ערך שטף צפיפות מגנטי ביחידות של milliTesla [21].

רמת החשיפה הממוצעת היומית לשדות מגנטיים שאליהם נחשפים רתכים על פי נטורים שפורסמו על ידי NIOSH נמצאה בערך של 8.2 mGauss עבור טווח עוצמות חשיפה של 1.7-96.0 mGauss (1 Tesla (T) = 10000 G) [22].

חשיפה לרעש מזיק

זיהוי:

רעש היינו כל צליל בלתי רצוי.

הרעש המזיק היינו רעש בעל יכולת לגרום לפגיעה בשמיעה.

לפי תקנות בטיחות בעבודה (גהות תעסוקתית ובריאות העובדים ברעש), התשמ"ד-1984, הרעש שמפלסו המשוקלל על פני הזמן עולה על 85 dB(A) לחשיפה במשך 8 שעות היינו רעש מזיק.

הערכה:

בריתוך בקשת פלסמה ערכי חשיפה לרעש יכולים להגיע ל-120 dB(A) [23].

בקרה:

א. הקפדה על שימוש בצידוד מגן אישי להפחתת החשיפה לרעש (לרבות אוזניות,

אטמים) בהתאם לתוצאות ניטור הרעש [24].

ב. הקפדה על בצוע תהליכים רועשים בסביבה בה נמצא מספר מינימלי של

עובדים, אשר אינם נחוצים לצורך ביצוע התהליך (תזמון תהליכים).

ג. שילוט אזור העבודה כאזור מרעיש

ד. בצוע הדרכות לגבי היבטי הסיכונים בחשיפה לרעש.

עומס חום

זיהוי:

במהלך ביצוע עבודות ריתוך עולה הטמפרטורה סביב התפר והמתכות העוברות התכה וחיבור. עליית טמפרטורה זו במיוחד בתנאי חום ולחות, עלולה להוביל להגברת עומס החום על הרתך וכן על עובדים בסביבת עבודתו.

בקרה:

א. מומלץ לבצע עבודות ריתוך באזור מאוורר.

- ב. הקפדה על שתייה מרובה על ידי הרתך והעובדים סביבו.
- ג. מומלץ לבצע את עבודת הרתוך תוך הגדרת פרקי זמן המיועדים למנוחה שיתבצעו באזור מאוורר בנפרד מאזור ביצוע הרתוך.

חשיפה לחומרים כימיים (נדפים וגזים)

זיהוי:

נדפים בריתוך הם תערובת של תחמוצות מתכתיות, סיליקאטים ופלוואורידים. נדפים נוצרים כאשר מתכת מחוממת מעל נקודת הרתיחה שלה והאדים הנוצרים מתעבים ליצירת חלקיקים מוצקים בגודל של 1-5 מיקרון.

הרכב הנדפים תלוי בהרכב העוֹבֵד, האלקטרודה וחומרי הרתוך (flux). אם מתכת הבסיס עברה ציפוי או צביעה, הנדפים יכולים לכלול גם שאריות מהחומרים שנכללו בצבע או ציפוי.

הנדפים עשויים להכיל תחמוצות ברזל, תחמוצות מנגן, פלוואורידים, תחמוצת סיליקון ותרכובות של טיטניום, ניקל, כרום, מוליבדן, ונדיום, טונגסטן, נחושת, קובלט, עופרת ואבץ.

גזים בריתוך פלסמה נפליטים כתוצאה מחימום פלאקסים, צבעים או ציפויים על גבי המתכות המרותכות. הגזים העיקרים המשתחררים בתהליך זה הם תחמוצות פחמן, תחמוצות חנקן, פלוואורידים ואוזון.

הערכה:

הריכוזים המרביים המותרים לנדפים בריתוך בסביבת העבודה הוגדרו בתקנות הבטיחות בעבודה (גהות תעסוקתית ובריאות העובדים במתכות מסוימות), התשנ"ג – 1993 ובחוברת ערכים מרביים מותרים של ACGIH.

הנתונים לגבי המצאות חומרים שונים בתהליך ואחוז תוצאות חריגות של הניטור שלהם (על סמך הנתונים של פרויקט מיפוי סיכונים גיהותיים בתעשייה 1994-2000 והנתונים של המעבדה הארצית לגהות תעסוקתית) מוצגים בטבלאות של גורמי סיכון בתהליך [26,25].

בקרה:

- א. מכיוון שבריתוך בחלל לא מאוורר קיים סיכון להצטברות רבה של נדפים וגזים, יש לארגן עמדות ריתוך במקום מאוורר היטב.
- ב. מומלץ לצייד עמדות ריתוך באוורור מאולץ מסוג **יניקה מקומית**. פתחי היניקה חייבים להיות ממוקמים במקומות שאינם עולים על גובה פניו של העובד, על מנת לא לגרום לתנועת נדפים וגזים דרך אזור נשימתו של העובד. המיקום

האופטימלי של המנדף הנייד ליניקה מקומית הוא במרחק של קוטר של צינור מהקשת החשמלית.

ג. מהירות זרימת האוויר בפתח היניקה של עמדת ריתוך צריך להיות לפחות 0.5 מטר/שניה על פני קשת הריתוך. כמו כן ניתן להשתמש באקדח השואב נדפים ממקור פליטתם ומוסבים בעזרת זרנוק לתוך מערכת פליטה. אקדח מסוג זה מאד יעיל עבור משטחים ישרים ואנכיים או בפינות וסביב אוגנים (Flanges) [27].

ד. בעבודות ריתוך אשר מתבצעות בחלל מוקף, יש להצטייד במסכות להגנה נשימתית המחוברות למקום אוויר טרי.

ה. בעמדות ריתוך חובה לבצע ניטור סביבתי על ידי בודקים מוסמכים בהתאם לתדירות הקבועה בחוק על פי תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), התשנ"א – 1990.

ו. במידה ותוצאות הניטור הסביבתי מצביעות על ערכי חשיפה הגבוהים מרמת הפעולה, העובדים החשופים חייבים לעבור בדיקות רפואיות.

ז. על מנת למנוע חשיפת העובדים שלא עוסקים ישירות בעבודות ריתוך מומלץ לארגן עמדות ריתוך בשטח מופרד. כך מומלץ להפריד בין עובדי מנהלה, עובדי ייצור, עובדי מחסנים מאזורים בהם מבצעים תהליכי ריתוך. כמו כן מומלץ כי משרדים המיועדים לרתכים וכן עמדות מנוחה יהיו מופרדות מעמדות הריתוך.

ח. במידה ותוצאות הניטור מצביעות על ערכי חשיפה הגבוהים מרמת הפעולה בחשיפה לנדפים, עד לשיפור תנאי העבודה, יש לבצע ריתוכים כשהרתך מצויד במסכה עם מסנן לנדפים.

ט. רוב גזי פלסמה השימושיים בשיטה זו אינם ידועים כרעילים (הליום, ארגון) אולם עלולים לגרום להורדת ריכוז החמצן באוויר ולחנק בעת דליפה ובמקומות סגורים ולא מאווררים כפי שהוגדרו על ידי ACGIH כחומרים הגורמים לחנק. יש לבצע תהליכי ריתוך במקום מאוורר היטב.

גורמי סיכון פיסילוגיים (היבטים ארגונומיים)

זיהוי:

במהלך ביצוע עבודות ריתוך העובדים נדרשים להרים חלקים כבדים, ביצוע תנועות מחזוריות וממושכות, עמידה שפופה או ביצוע תנועות לא נוחות.

בקרה:

הרמת משאות תבוצע עם ציוד הרמה כגון עגורן בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (עגורנים מפעילי מכונות הרמה אחרות ואתים), התשנ"ג- 1992.

ניהול היבטי הבטיחות והגהות בעבודה בתהליך ריתוך – פלסמה מומלץ לבצע תוך הקפדה על התנאים הבאים:

1. כללי

א. הדרכה לעובדים אחת לשנה לפחות, על ידי מדריך מוסמך אשר אושר לכך ע"י מנהל המפעל (בעלים).

ניהול פנקס הדרכה לרבות תיעוד מועד ההדרכה, המדריך והחומר הנלמד. עם כניסתו של עובד חדש או שינוי עמדת העבודה של העובד יש לדאוג לביצוע הדרכה בנוגע לסיכונים בתהליך בו עוסק העובד, אמצעי להפחתת סיכונים לרבות אמצעי מיגון אישי, התנהגות בעת אירוע חריג לרבות תאונה וכמעט תאונה [28].

ב. שילוט הסיכונים באזור העבודה, לרבות סיכונים גהותיים ובטיחותיים. שילוט בדבר הצורך בשימוש בצידוד מגן אישי. שילוט בדבר איסור עישון [30,29].

ג. הגדרת שיטה (נוהל) להעברת מידע לגבי מפגעי בטיחות וגהות בתהליך העבודה, באמצעות מנהל המחלקה או נאמן בטיחות מחלקתי. העברת מידע מהעובדים להנהלה, באמצעות דיווח על מפגעי בטיחות וגהות, כמעט תאונות או תאונות עבודה.

ד. תזמון תהליכים – ביצוע תהליכי ריתוך בזמן בו נמצאים מינימום אנשים באזור התהליך. כך ימנע מצב של חשיפת אנשים שאינם חיוניים לתהליך לסיכונים גהותיים ובטיחותיים. כך למשל ביצוע תהליכי ריתוך מסיביים בשעות בהן האיוש במקום העבודה היינו נמוך או חלקי.

ה. בידוד של אזור הריתוך על ידי מחיצות קבועות או ניידות העשויות חומרים בלתי בעירים ובלתי מתלקחים.

ו. שימוש באמצעי הרמת משאות כגון עגורן בהרמת חלקים לצורך ריתוך [31].

ז. הפעלת הרתכת תבוצע לפי הנחיות היצרן לרבות הנחיות הבטיחות.

ח. שימוש בצידוד חשמלי תקני, תקין ובדוק בהתאם לחוק החשמל ובשיטות עבודה בטוחות לפי תקנות הבטיחות בעבודות חשמל כגון:

- שימוש בחשמל בשיטה הבטיחותית ביותר (שימוש בזרם ישר).
- בריתוך המבוצע עם זרם חילופין אין להשתמש ישירות בזרם מרשת החשמל אלא יש להפריד בין מעגל רשת החשמל למעגל הריתוך על ידי שימוש בשנאי ריתוך.
- מעגל הריתוך יהיה מוארק. הרתכת תהיה מוארקת.

- מערכת הריתוך תיבדק תקופתית על ידי חשמלאי מוסמך.

2. סיכוני אש

למניעת היווצרות מצב בו תתאפשר התלקחות של חומרים דליקים במהלך בצוע תהליך הריתוך יש לדאוג ל:

- א. הרחקת חומרים דליקים מהאזור, ניקוי מכלים/צנרות המכילים חומרים דליקים, להזרים גז אינרטי להורדת ריכוזי חמצן (בעת הצורך), בדיקה באמצעות גלאים ניידים שלא קיימת אווירה נפיצה באזור המיועד לריתוך, מיקום אמצעי כיבוי אש לרבות מטפים, צינורות כיבוי ומזנק.
- ב. עבודה בהתאם לנוהל "בטיחות בעבודות חמות" המבטיח נקיטת אמצעי זהירות והגנה למניעת התלקחות עקב הריתוך.
- ג. הצבת צופה אש לאחר ביצוע הריתוך לזיהוי מיקום נפילת הגצים. במידה והוחלט שלא להעמיד צופה אש, יש צורך בבדיקה סופית לאחר ביצוע הריתוך.

3. מגע עם עצמים חמים

שימוש בביגוד בעל שרולים ארוכים, מכנסיים ארוכים, סינר עור, כפפות רתכים, מסכת ריתוך לכל הפנים, קובע מגן ונעלי עבודה עמידים בפני גצים.

4. קרינות

בעת ביצוע עבודות ריתוך השימוש באמצעי מיגון אישיים - במסכת רתכים או משקפי מגן עם הגנה צדדית כולל זכוכיות מגן על פי תקן ישראלי 00-00-1283, ציוד להגנת העיניים, הפנים והצוואר הינו חובה.

5. רעש מזיק

- א. הקפדה על בצוע תהליכים רועשים בסביבה בה נמצא מספר מינימלי של עובדים, אשר אינם נחוצים לצורך ביצוע התהליך (תזמון תהליכים).
- ב. ביצוע ניטור סביבתי לרעש כנדרש בתקנות הבטיחות בעבודה.
- ג. ביצוע בדיקות שמיעה לעובדים אשר חשופים לרעש מזיק בהתאם לתוצאות ניטור הרעש.
- ד. שימוש בציוד מגן אישי להפחתת חשיפה לרעש.

6. עומס חום

- א. ביצוע עבודות ריתוך באזורים מאווררים וממוזגים.
- ב. הקפדה על שתייה מרובה על ידי הרתך והעובדים סביבו.
- ג. ביצוע עבודת הריתוך תוך הגדרת פרקי זמן המיועדים למנוחה שיתבצעו באזור מאוורר בנפרד מאזור ביצוע הריתוך.

7. חומרים כימיים

- א. לאור הסיכונים בפליטת נדפים וגזים בתהליך ריתוך הנגרמים חלקם מציפויים וצבעים, מומלץ כי לפני תחילת ביצוע תהליכי ריתוך, יבוצע ניקוי של המתכות והסרת שאריות של ציפויים וצבעים (ראה תהליכים "טיפול שטח- מכני" מספר 244 ו"טיפול שטח כימי" מספר 251).
- ב. ציוד עמדות ריתוך באזורור מאלץ מסוג **יניקה מקומית**.
- ג. ביצוע בדיקה תקופתית של יעילות המערכות ליניקה מקומית.
- ד. ביצוע ניטורים סביבתיים לנדפים ועשן כנדרש בתקנות הבטיחות בעבודה.
- ה. ביצוע מעקב רפואי ונטור ביולוגי באמצעות מרפאות תעסוקתיות בהתאם לנדרש בתקנות, לאור הערכת הריכוזים בנטור סביבתי.
- ו. שימוש במסכה להגנה נשימתית בהתאם לתוצאות ניטור סביבתי במידה שהריכוזים המתקבלים גבוהים מרמת הפעולה.
- ז. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, וכיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.
- ח. הצטיידות בגליונות בטיחות לחומרים שבשימוש (לרבות תוצרי פרוק אפשריים בעת פעולת ריתוך).

ביבליוגרפיה

1. פרדו, א., ריבשטיין, מ., מיימן, מ., ואח.: דפדפת רשימות תהליכים תעשייתיים והגדרותיהם, אוניברסיטת תל-אביב, המכון לבריאות תעסוקתית, דצמבר 1993.
2. שביט י.: בטיחות בריתוך חשמלי, המוסד לבטיחות וגהות, 1996.
3. The Welding Institute, Job knowledge for welders 7: Plasma welding, 2004.
4. תקן ישראלי 4141 חלק 12: ציוד מגן אישי לעיניים: ציוד להגנת העיניים והפנים בעת ריתוך ותהליכים נלווים, מכון התקנים הישראלי, 2004.
<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1041411200?OpenDocument>
5. תקן ישראלי 5093: דליקות של וילונות לשימוש מוסדי או ציבורי, מכון התקנים הישראלי, 2000.
<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1050930000?OpenDocument>
6. Standard Z49.1:2005: Safety in Welding, Cutting and Allied Processes, American National Standard Institute, 2005. < <http://www.aws.org/technical/facts/Z49.1-2005-all.pdf> >
7. תקן ישראלי 712 חלק 7: גלילים מיטלטלים לגזים: סימני זיהוי לגזים תעשייתיים, 1985.
<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1007120700?OpenDocument>
8. תקן ישראלי 1858 חלק ב': ציוד ריתוך- אביזרי בטיחות: אביזרים ללא כליא להבה (בולם להבה חוזרת), מכון התקנים הישראלי, 2004.
<<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1018580200?OpenDocument>>
9. תקן ישראלי 712: גלילים מיטלטלים לגזים, מכון התקנים הישראלי, 1968.
<<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1007120000?OpenDocument>>
10. NFPA 55: Standards for storage, use, and handling for compressed gases and cryogenic fluids in portable and stationary containers, cylinders, and

-
- tanks, National Fire Protection Association, 2002.
><http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/ROP/55-03-rop.pdf><
11. תקן ישראלי 637: גלילים לגזים: שסתומים, מכון התקנים הישראלי, 1981.
<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1006370000?OpenDocument>
12. תקן ישראלי 4348: מניעת שריפות בעת ריתוך, חיתוך ועבודות אחרות בחום, מכון התקנים הישראלי, 2004.
<<http://www.sii.org.il/standard.nsf/Standards/1043480000?OpenDocument>>
13. NFPA 51B: Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work, National Fire Protection Association, 2003.
<<http://webstore.ansi.org/ansidocstore/product.asp?sku=51B03PDF>>
14. Canadian Center for Occupational Health and Safety
<http://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/eyes.html>
15. תקן ישראלי 1283-00-00-0: ציוד להגנת העיניים, הפנים והצוואר מפני קרינה, הנוצרת בעת ריתוך ופעולות דומות, 1988.
<http://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/eyes.html>
16. Sliney, D.H.: Light and Infrared Radiation, Encyclopedia of Occupational Work. <<http://www.ilo.org/encyclopedia/?d&nd=857100220&prevDoc=857000271>>
17. The Welding Institute, Job knowledge for welders 29: Health, safety and accident prevention- arc welding
<http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/jk29.html>
18. Harris, J.: A Look at Auto-Darkening Welding Helmets, Eye Protection, AutoInc Magazine, 2002.
<<http://www.asashop.org/autoinc/jan2002/collision.cfm>>
19. Welding and Cutting- Risks and Measures.<<http://www.esab.com/esabhtml/pdf/weldinga.pdf>>
20. Occupational Safety and Health Administration
< http://www.osha.gov/dts/hib/hib_data/hib19900207.html >
21. 2015 TLVs® and BEIs®. Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH® Worldwide Signature Publication.
22. Department of Health and Human Services, Center for Disease Control & Prevention, The National Institute of Occupational Health and Safety. NIOSH Fact Sheet: "EMFs in the Workplace," Publication No. 96-129.<<http://www.cdc.gov/niosh/emf2.html>>
23. Welding, Dr. Eckhart EHS210 University of California 2003.
<<http://www.ph.ucla.edu/ehs/student%20hazards/welding.pdf>>
24. תקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז-1997
25. פרויקט מיפוי סיכונים גהותיים פוטנציאליים בתעשייה 2000 – 1994, דו"ח מסכמ. המכון הארצי לבריאות תעסוקתית וסביבתית, רעננה 2004.
26. המעבדה הארצית לגהות תעסוקתית, אגף פיקוח אל העבודה, משרד התמ"ת, מאגר בדיקות סביבתיות. החומר לא פורסם.
27. CCOHS - Canadian Center for Occupational Health and Safety. OSH Answers, Safety Hazards, Welding, Ventilation. <http://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/ventilation.html>
28. תקנות ארגון הפיקוח על העבודה (מסירת מידע והדרכת עובדים), התשנ"ט – 1999.
29. פקודת הבטיחות בעבודה (נוסח חדש), תש"ל-1970.

30. חוק למניעת העישון במקומות ציבוריים והחשיפה לעישון, תשמ"ג-1983.
31. תקנות הבטיחות בעבודה (עגורנאים מפעילי מכונות הרמה אחרות ואתים), התשנ"ג –
1992.