

עקרונות ריתוך בקרן לייזר



ג'קי בן דיין
מהנדס ריתוך ומפקח ריתוך מוסמך



דינסון שקד בע"מ
שרותי יעוץ הנדסי

לייזר (באנגלית: **Laser**):

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

הגברת אור על ידי פליטה מאולצת של קרינה

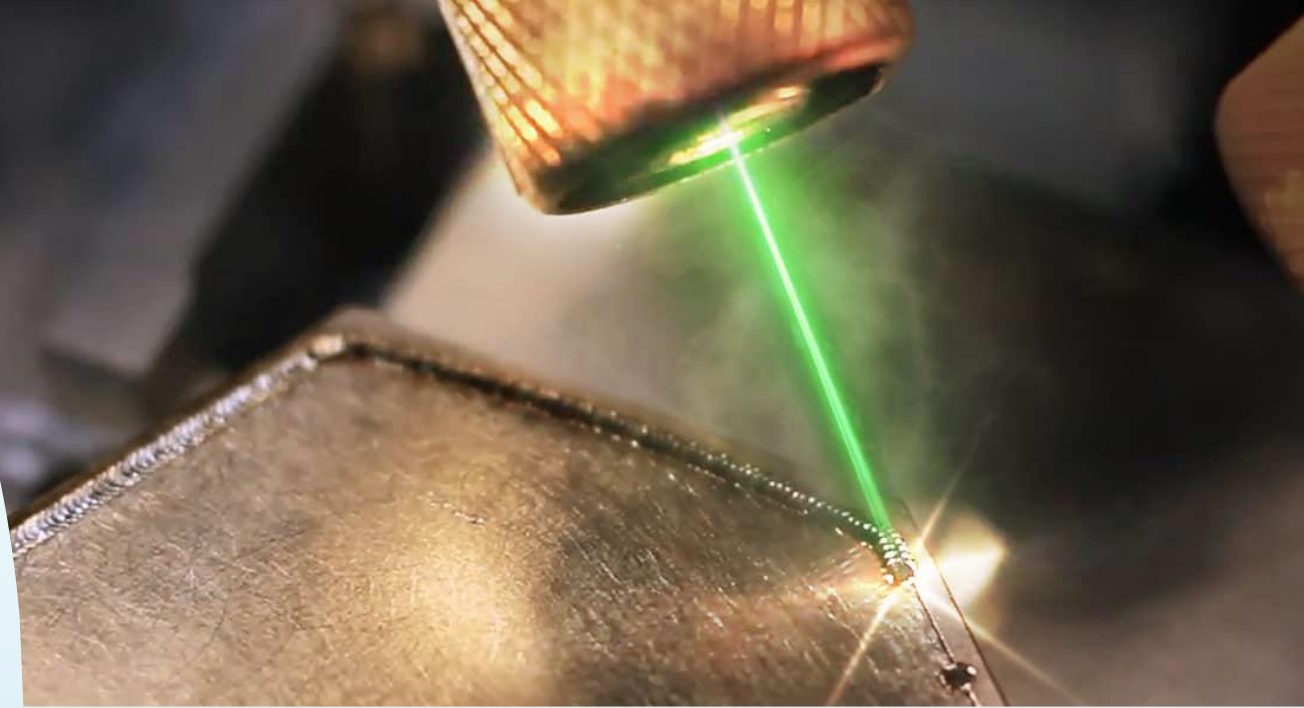
ריתוך בקרן לייזר **Laser Beam Welding** הינו תהליך בו עושים שימוש בקרן אור (פוטונים) מרוכזת וממוקדת מונוכרומטית (בעלת אורך גל יחיד) וקוהרנטית (בעלת פאזה מתואמת) שכמעט ואינה מתפזרת המהווה את מקור החום שצריך כדי להתיד את החומרים שאנו מעוניינים לחבר.

קרן הלייזר נספגת, מחממת וממיסה את הקצוות של חומר ממנו עשויים החלקים, ויוצרת מחבר מרוותך.



ריתוך בקרן לייזר התחיל בסוף שנות
ה 60 –תחילת שנות ה 70 והתפתח
בצורה תעשייתית בתחילת שנות ה
90 ונמשך עד היום והוא תהליך
ריתוך חשוב במשפחה של תהליכי
הריתוך תעשייתיים.

ריתוך בקרן לייזר יכול לשמש למגוון
רחב מאד של תחומים ומשמש ביצור
מוצרים רבים כגון בטריות, וטילים,
טלפונים ניידים ומוצרים רפואיים כגון
שתלים כרורגיים ברפואה, תעופה
וחלל, אלקטרוניקה וטלקומוניקציה
ותעשיית הרכב וכד'





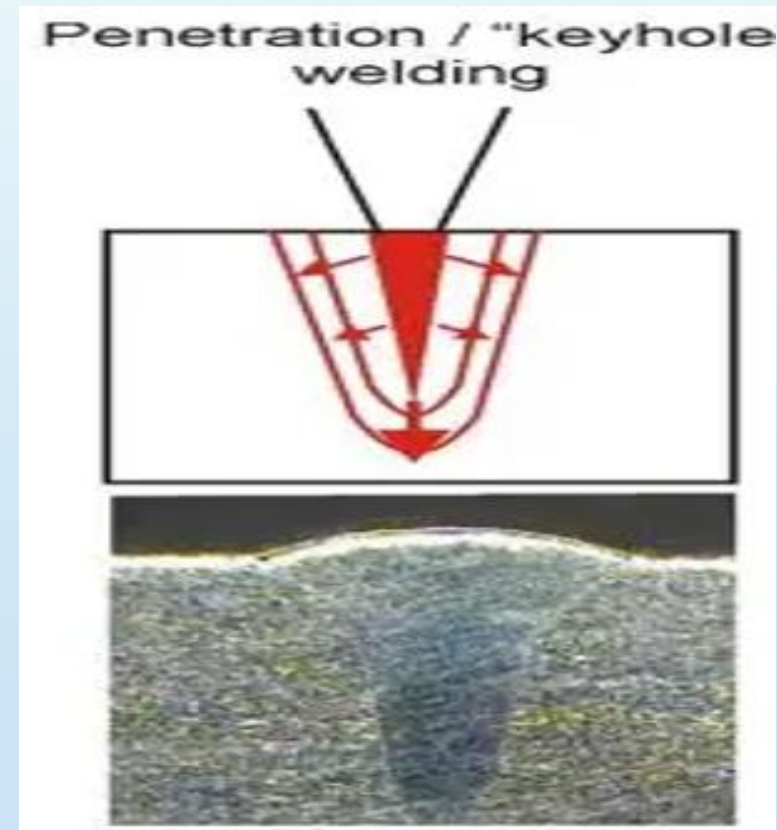
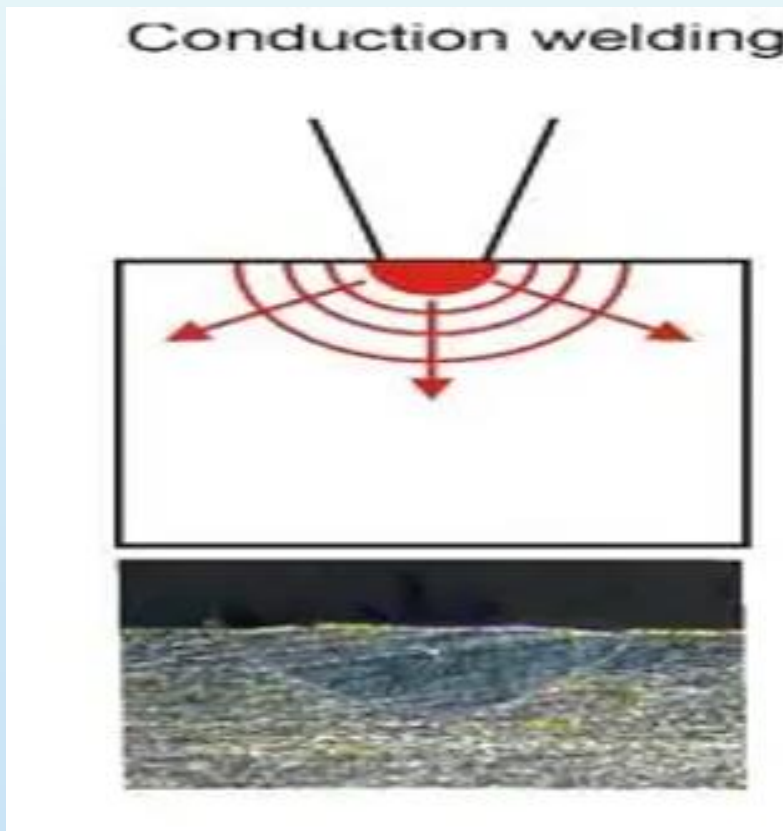
לדאבוני, רבים ממפקחי הריתוך וממתכנני המוצרים בארץ לא מנצלים את האפשרויות והיתרונות של ריתוך בקרן לייזר כגון: ריתוך נקי וחלק החוסך במקרים רבים את פעולות גימור כמו ליטוש ושיוף תפר הריתוך, ריתוך מדויק, גם כאשר קיימת מגבלת גישה לחומר, ריתוך במהירות גבוהה המאפשר חיסכון בזמן ובעלויות, ריתוך שחלקי דקי עובי דופן ניתן לבצע ללא חומרי מילוי, כמובן שיש גם חסרונות כגון עלות ציוד גבוהה, דיוק החלקים המיועדים לריתוך וכד'.

בריתוך בקרן לייזר עלינו להבחין בין שתי טכניקות :

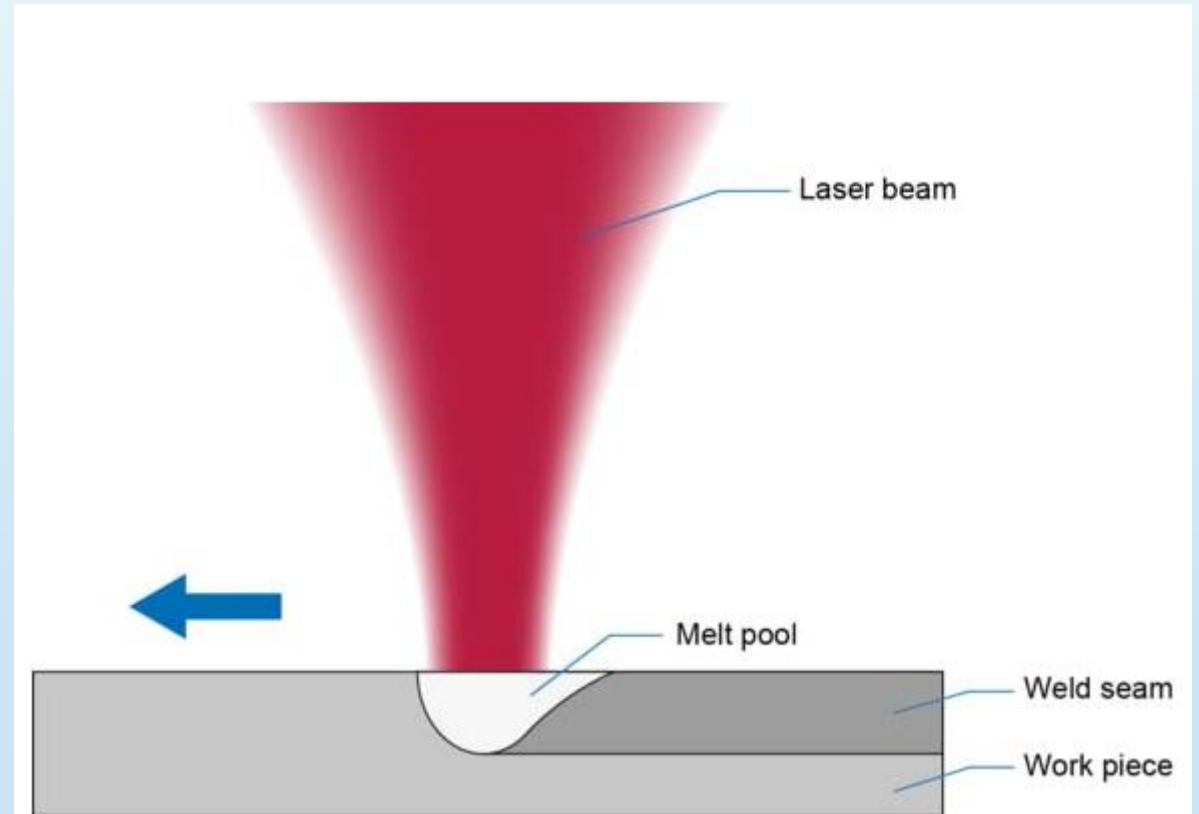
1. ריתוך הולכת תרמית - Conduction Mode

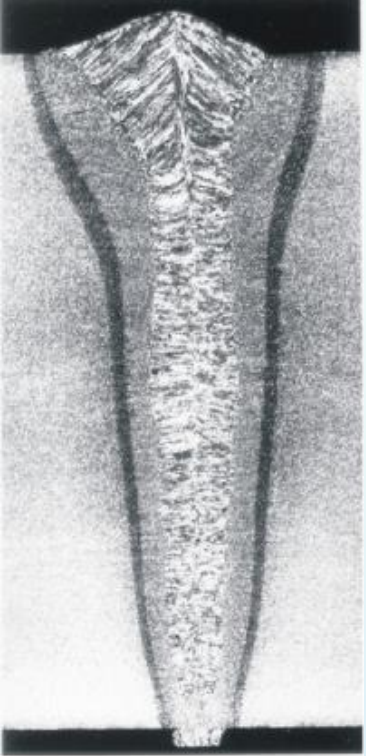
2. ריתוך חדירה עמוקה (חור מנעול) - Keyhole or

Penetration Mode



ריתוך הולכת תרמית מתבצע בצפיפות אנרגיה נמוכה בדרך כלל סביב ה- 0.5 מג'א/סמ"ר, החומרים שיש לחבר נמסים כתוצאה מספיגת קרן הלייזר על פני השטח של החומר, והולכה נלווית של חום. עומק החדירה בתהליך זה הוא בדרך כלל קטן בין 0.05 עד 1 מ"מ. ריתוך מצב הולכה תרמית יוצר גוש ריתוך NUGGET רדוד ורחב.



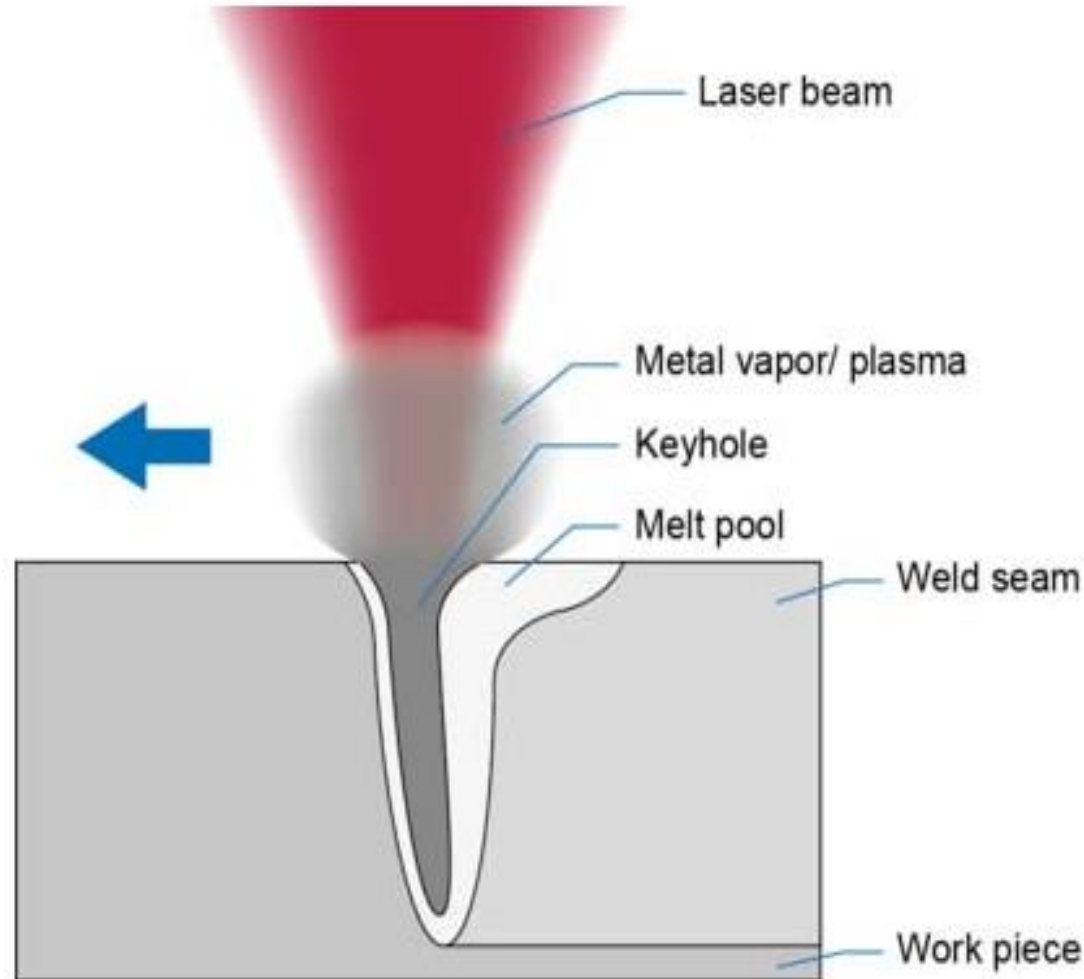


ריתוך חור מנעול או מצב חדירה – הגדלת צפיפות ההספק המרבית מעבר לסביבות 1.5 מגוואט\סמ"ר מעבירה את הריתוך למצב חור המנעול, המאופיין בריתוך צר ועמוק עם יחס גובה-רוחב גדול מ-1.5. במצב ריתוך חור מנעול ניתן להשלים את הריתוך במהירויות גבוהות מאוד העולות על 50 ס"מ\שניה עם ריתוכים רדודים בעומק ריתוך קטן, או ריתוכים עמוקים מאוד, עד 30 מ"מ.

בטכניקת ריתוך חור המנעול קרן הלייזר גורמת להיווצרות חור בתוך החומר המאופיין בצורת גליל ומתמלא בנימה של אדי מתכת. המתכת שמחוממת לטמפרטורה גבוהה נוזלת וממלאת את החור שנוצר בחומר ועם התקדמות קרן הלייזר המתכת הנוזלית מתקררת ומתמצקת בתוך קו התפר בין שני החומרים שמרתכים.

העברה ישירה זו של אנרגיה לתוך החומר ממקסמת את עומק הריתוך וממזער את החום לתוך החומר, ובכך מפחיתה את האזור המושפע בחום (HAZ) ואת עיוות החלקים.

חור המנעול מוקף בחומר מותר הפועל לסגירת חור המנעול. במצב יציב ובתנאי ריתוך אופטימליים, לחץ האדים הכלול בתוך חור המנעול מונע למעשה מהחומר המותר לקרוס באופן קבוע לתוך עצמו, מה שיעצור את הריתוך. יחד עם זאת, קריסות מקומיות וקצרות של חור המנעול עלולות להתרחש גם במהלך ריתוך אופטימלי.



סוגי לייזר

Laser Name	Lasing Medium	Wavelength [μm]	Power	Beam Quality
CO ₂	Gaseous (CO ₂)	10.6	Medium / High	High / Medium
Fibre	Solid State (Yb-doped quartz fibre)	1.075	High	High
YAG	Solid State (Nd:YAG)	1.064	Medium	Medium
Disk	Solid State (Yb:YAG)	1.030	High	High
Diode	Solid State	0.9 – 1.07	High	Low

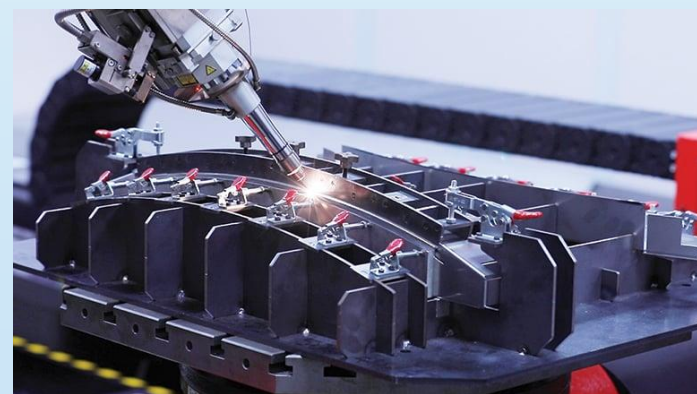
קיימים 4 סוגים שונים של לייזר המשמשים לריתוך.

- לייזר גז בדרך כלל CO₂,

- לייזר במצב מוצק Nd:YAG, (Neodymium-doped yttrium aluminium garnet או Ruby

- לייזר דיודות (מוליכים למחצה).

- לייזר סיבים אופטיים



לייזר בצורה רציפה או בפולסים

בתהליך הריתוך ניתן לעבוד בצורה רציפה או בפולסים עם קרן לייזר בקוטר של עשרות מיקרונים בודדים, זאת בעזרת מערך אופטי אשר מאפשר את כיוון קוטר האלומה בהתאם לצורך. עובדה זו, בשילוב עם יכולת שליטה עדינה על עוצמת הלייזר מאפשרת ריתוך של חלקים ומכלולים זעירים הדורשים דיוק גבוהה במיקום הריתוך ויצירת תפר זעיר לאורך הריתוך כולו.



לייזר בצורה רציף או בפולסים

• צורה רציפה מתאימה:

- ריתוך בחדירה עמוקה
- ריתוך חומרים בהם יש פוטנציאל לסידוק כגון 303, 316, 430
- יצור בנפח גדול
- ריתוך מחברים\מכלולים שאינם רגישים לחום

• צורת פולסים מתאימה:

- ריתוך חומרים עם מקדם מחזיר אור גבוה כמו אלומיניום ונחושת
- ריתוך במכלולים רגישים לחום
- ריתוך נקודה
- ריתוך אטימה



Pulsed laser battery seal



Pulsed Implant seam seal



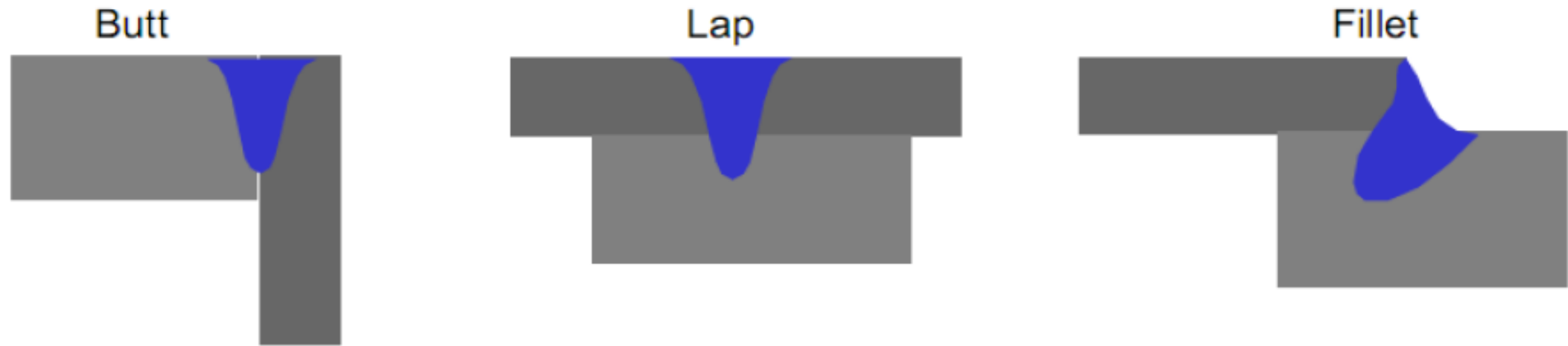
CW laser battery tab weld



לייזר בפולסים

לייזר ידני עם חוט מילוי

סוגי מחברים

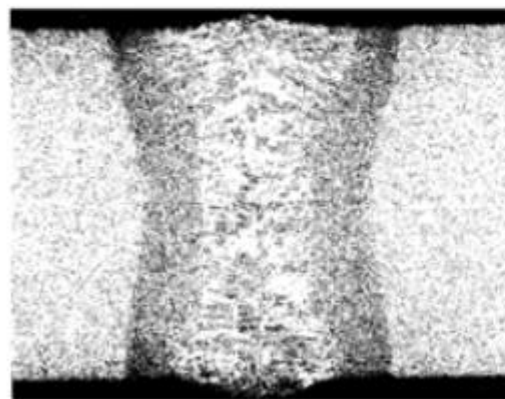
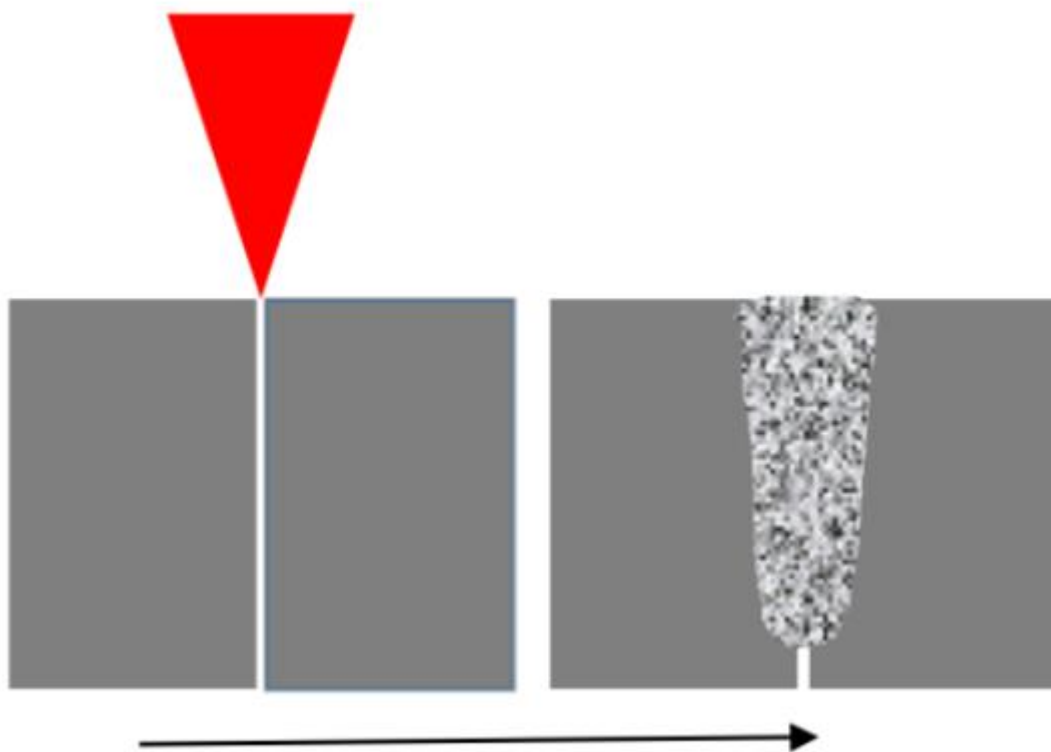


מקור המגדיר את סוגי המחברים ומדידות הכנה הוא תקן

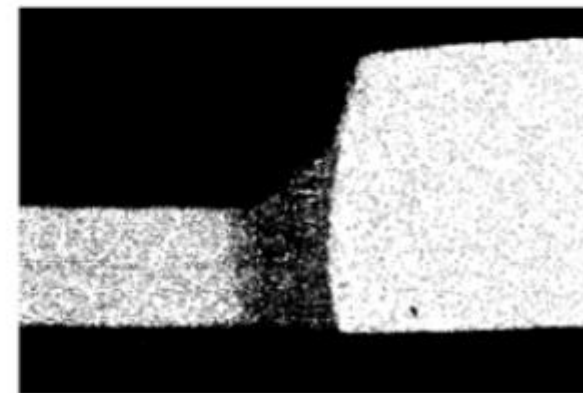
ISO 9692-1

סוגי מחברים

במחבר השקה המרווח המקסימלי בין החלקים הוא 10% קוטר האלומה



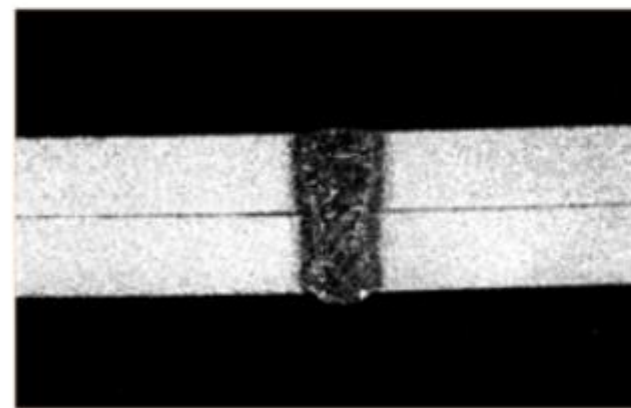
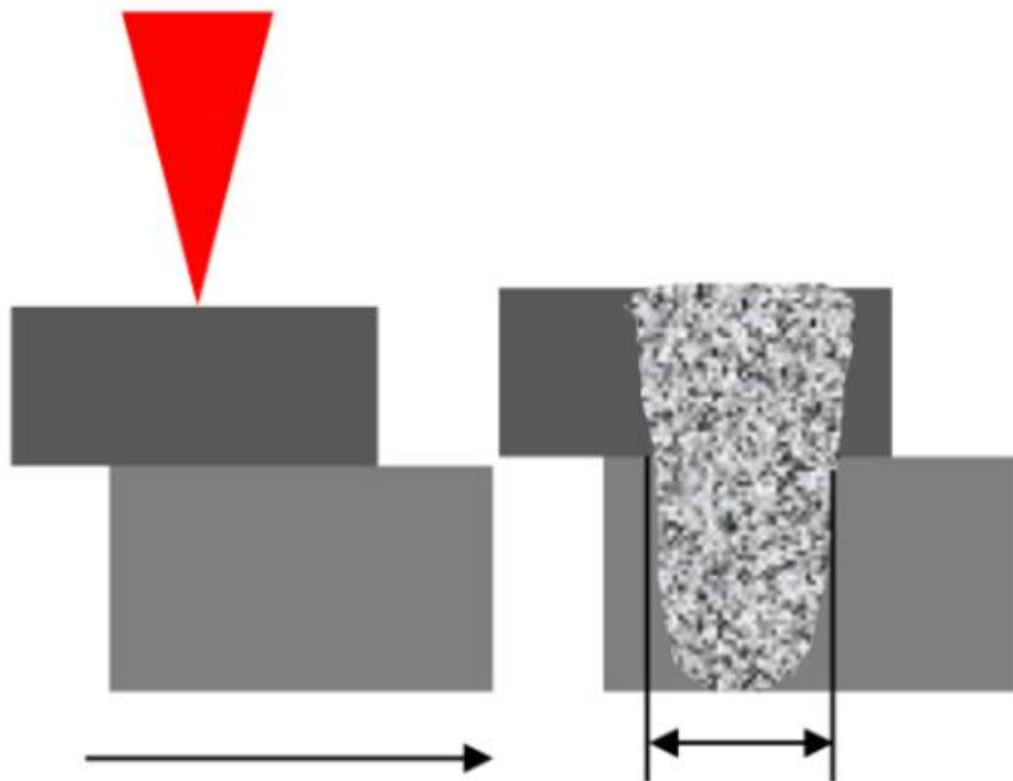
Similar thicknesses



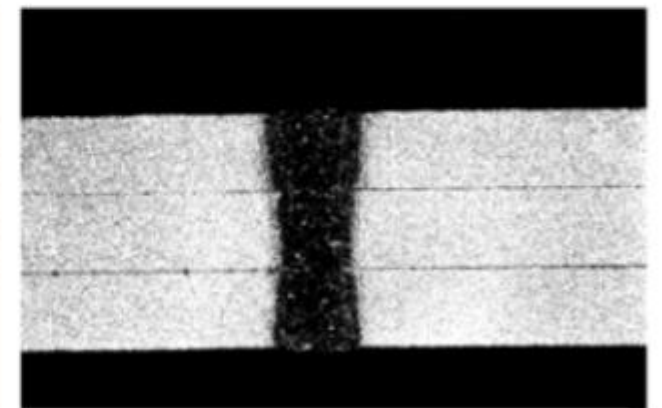
Dissimilar thicknesses

סוגי מחברים

במחבר חפייה המרווח המקסימלי בין החלקים הוא 25% קוטר האלומה



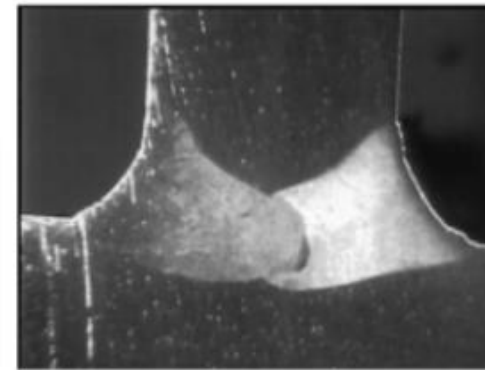
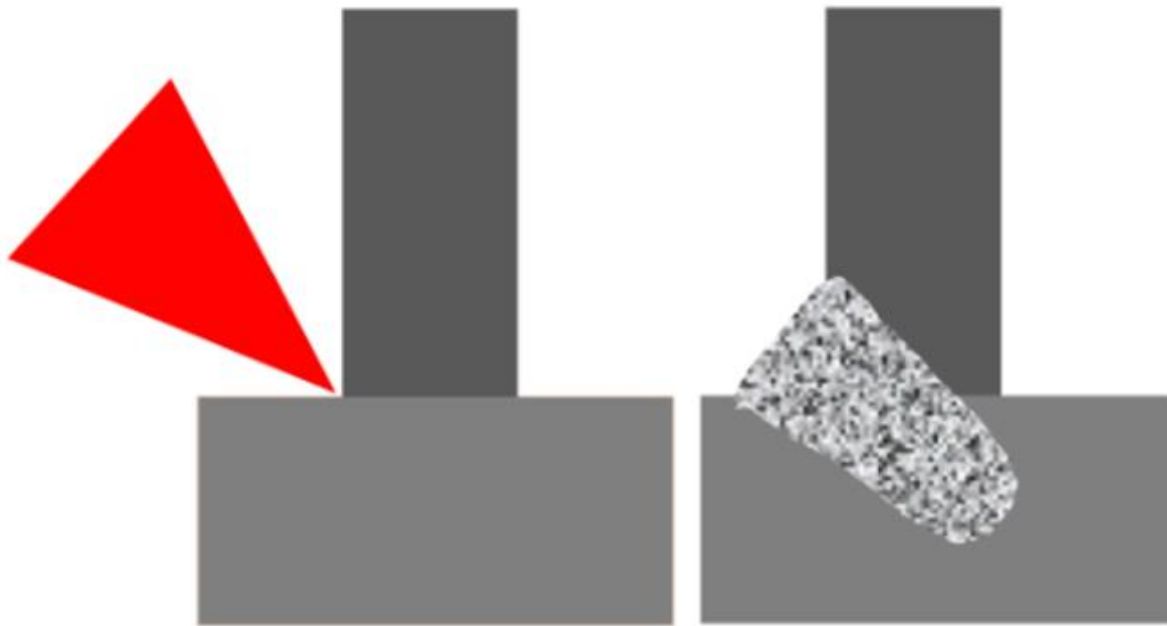
Two layer lap joint



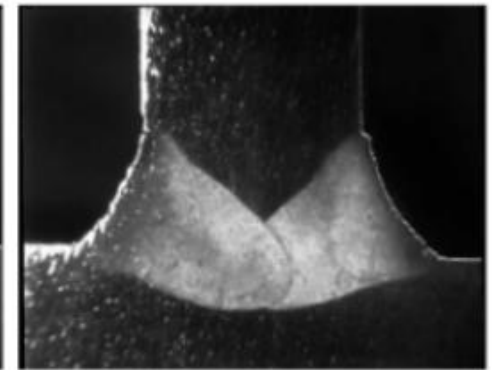
Three layer lap joint

סוגי מחברים

במחבר TEE המרווח המקסימאלי המותר הוא 15% מקוטר האלומה

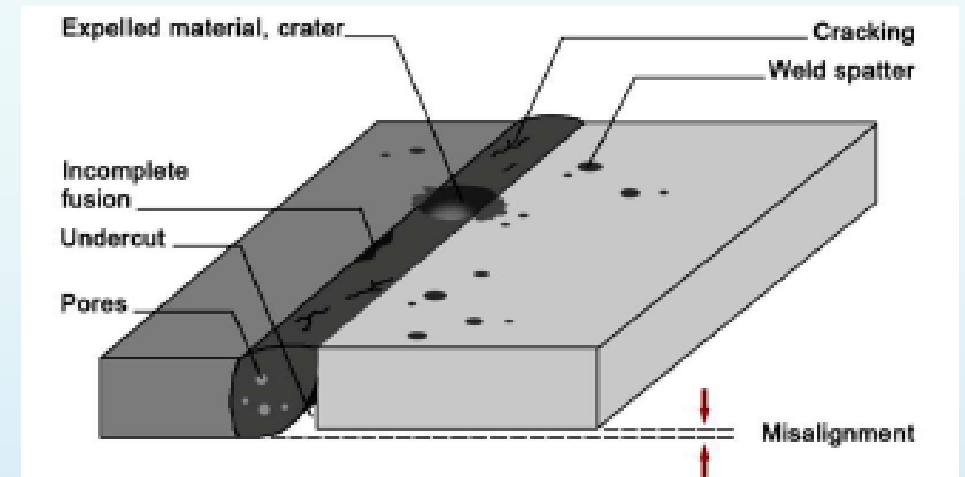
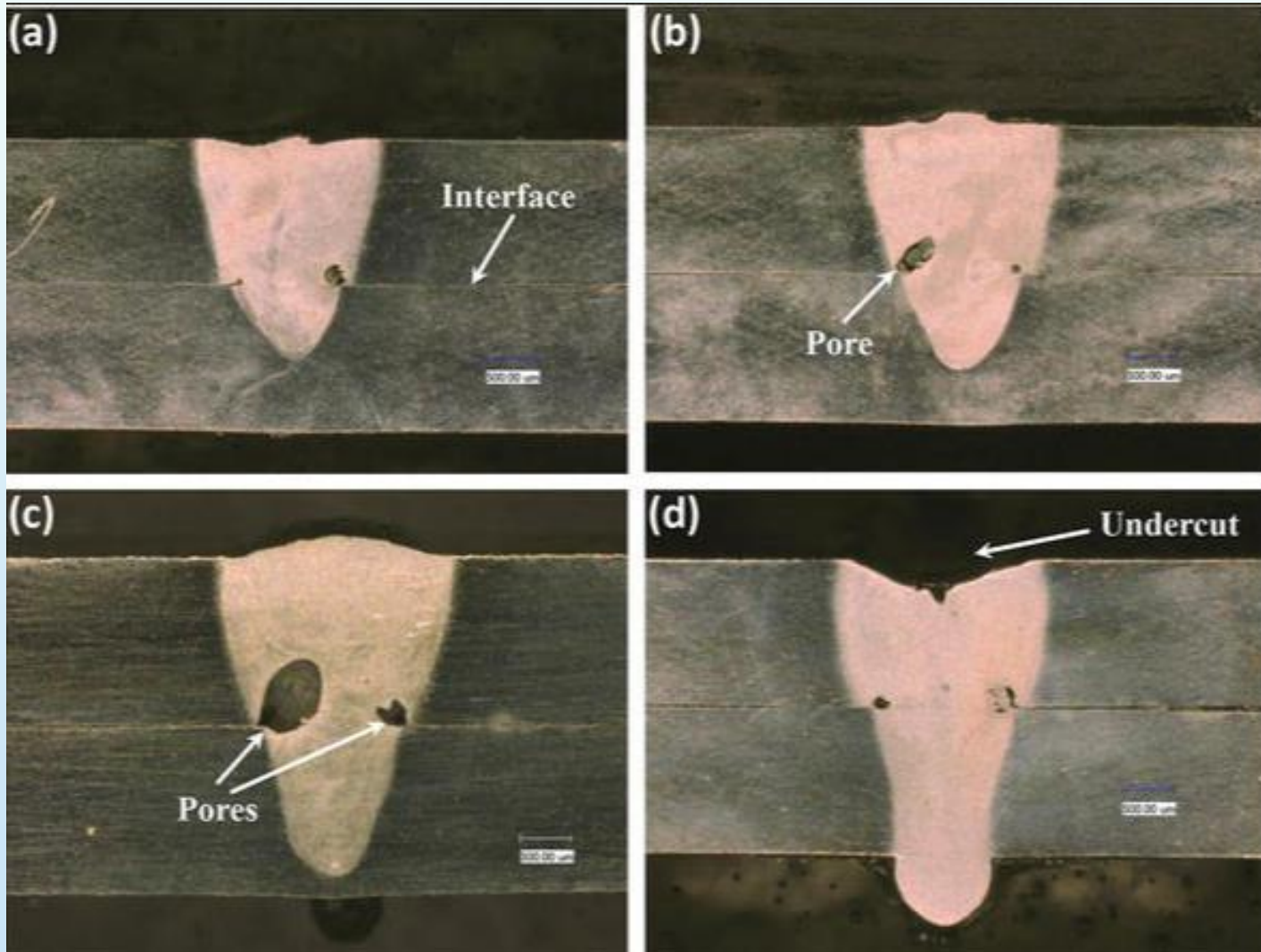


*T-joint, double
pass at 20°*



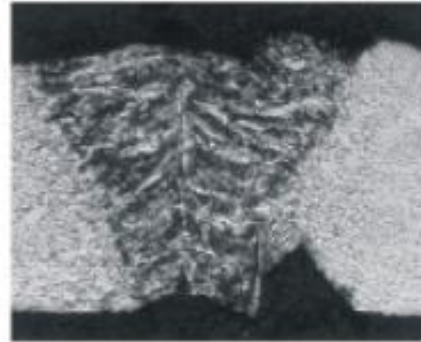
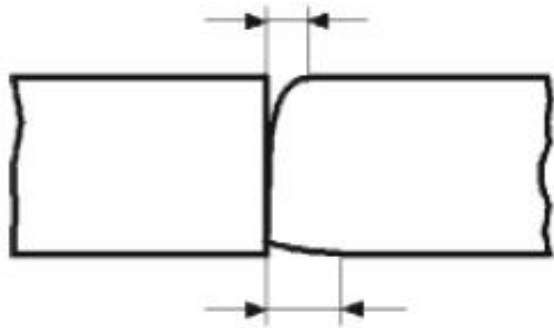
*T-joint, double
pass at 30°*

סוגי פגמים

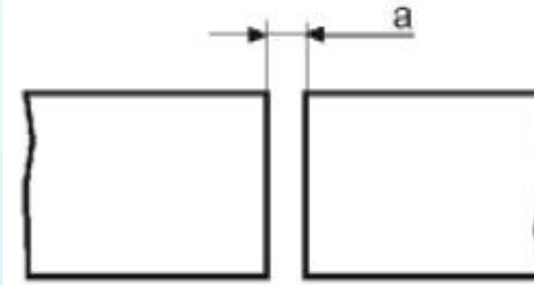


סוגי פגמים

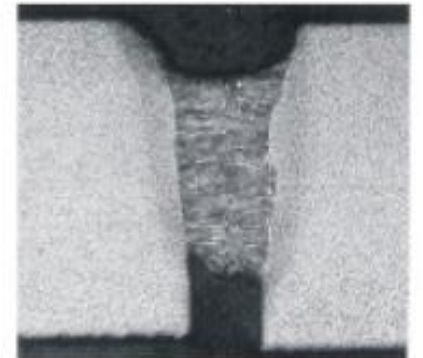
edge preparation



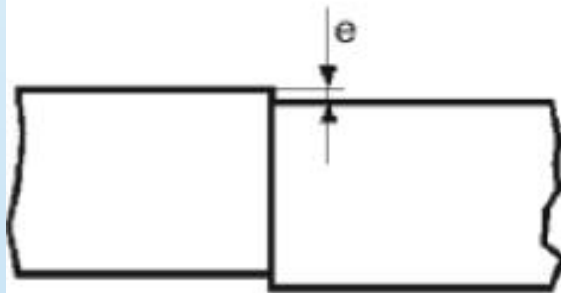
gap



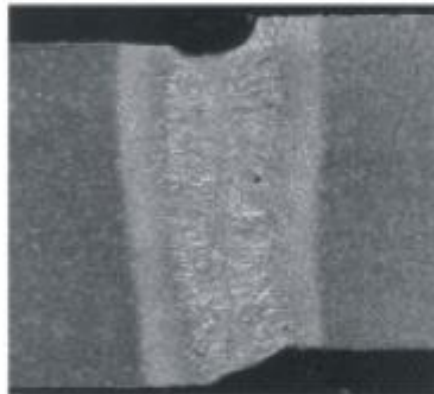
($a \leq 0,1 \times \text{plate thickness}$)



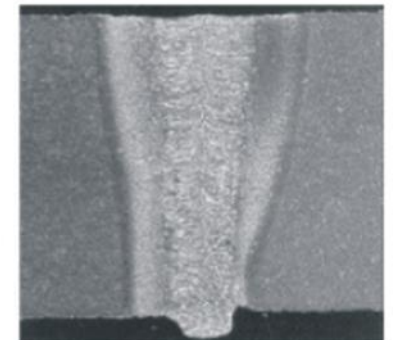
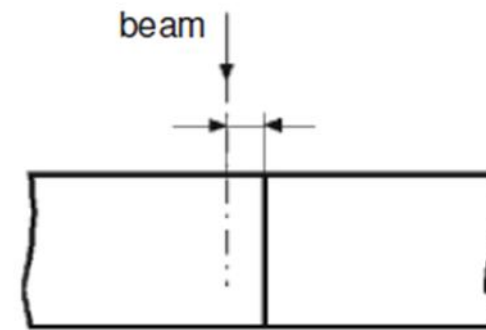
misalignment



($e \leq 0,1 \times \text{plate thickness}$)



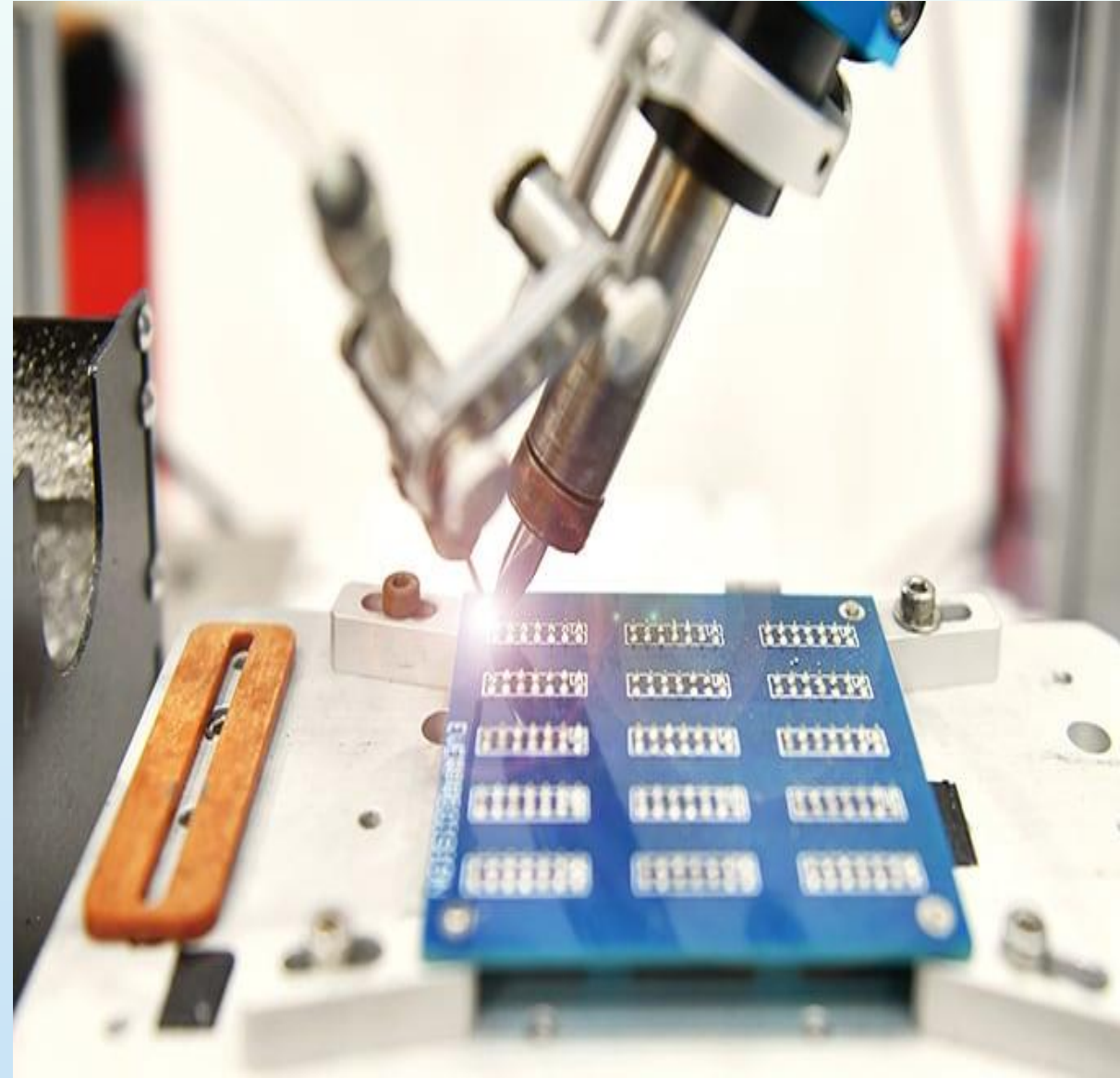
mispositioning



תקני ISO | חשובים לריתוך בקרן לייזר

EN ISO 15614-11

- WPS- Welding procedures test : Electron and laser beam welded joints
- **ISO 15609-4**
- WPQR- Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — **Part 4: Laser beam welding and cladding**
- Welding and allied processes - Electron and laser beam welded joints - Guidance on quality levels for imperfections:
- **Part 1: Steels -EN ISO 13919-1**
- **Part 2: Aluminium and its weldable alloys - EN ISO 13919-2**
- **ISO 14732**
- Welding personnel- Qualification testing of welding operators and weld settlers for mechanized and automatic welding of metallic materials.



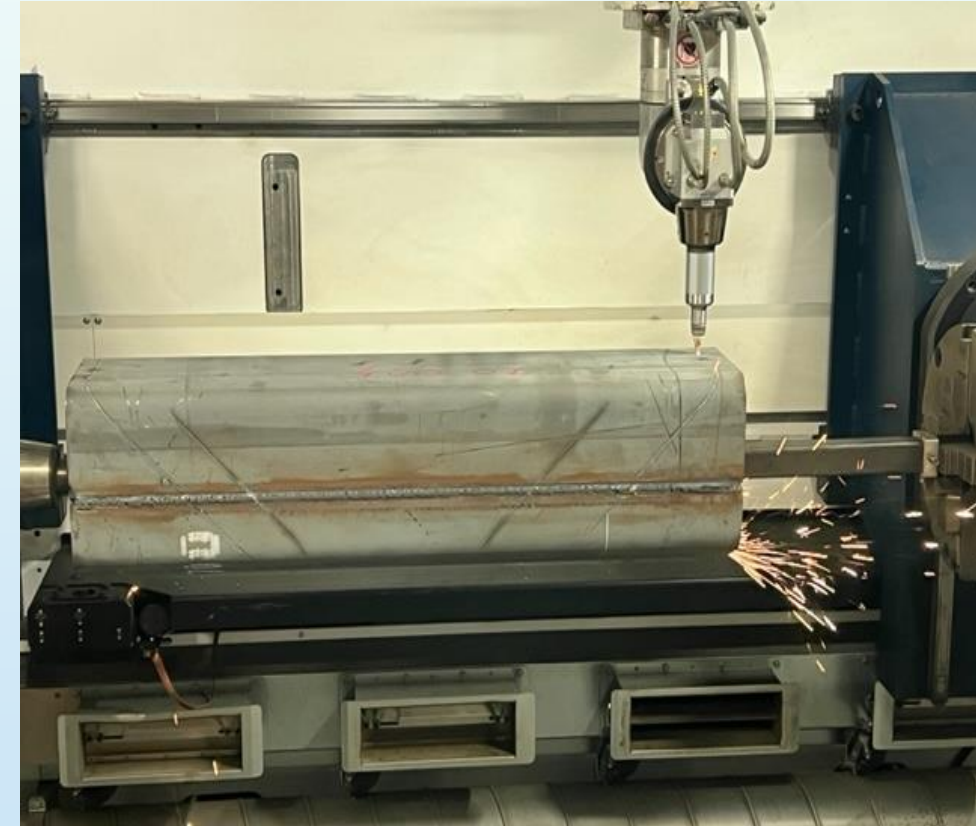
תקני AWS לריתוך בקרן לייזר

ANSI/AWS C7.4 Process Specification and Operator Qualification for Laser Beam Welding

AWSD17.1 Specification for fusion welding for Aerospace Applications

AWS B2.1 Specification for Welding Procedure and Performance Qualification

AWS C7.2 - Recommended Practices for Laser Beam Welding, Cutting, and Drilling



לסיכום- יתרונות של ריתוך בקרן לייזר

1. הריתוך שנוצר על ידי ריתוך בקרן לייזר הינו הנקי וחלק ביותר בהשוואה לתהליכי ריתוך אחרים.
2. החלקים המרותכים בקרן לייזר הינם בעלי העיוותים הקטנים ביותר לעומת תהליכי ריתוך אחרים
3. ריתוך בקרן לייזר הינו תהליך הריתוך המהיר ביותר. מהירות יכולה להגיע ל 20 מטר לדקה ומאפשר חיסכון בזמן ובעלויות.
4. ניתן לרתך כל סוגי החומרים גם בין חומרים בעלי תכונות שונות.
5. האזור המושפע בחום HAZ של ריתוך בקרן לייזר הינו הצר מכל תהליכי ריתוך אחרים.
6. ריתוך בלייזר יכול להתבצע בשיטה ידני וגם אוטומטי ע"י רובוט
7. בריתוך בקרן לייזר ניתן לרתך חלקים בעלי עובי דופן קטן ביותר (בעובי של מאיות המ"מ).
8. ריתוך בלייזר יכול להתבצע ממרחק ולכן ניתן להגיע למקומות בעלי גישה קשה.
9. ריתוך בקרן לייזר אינו צריך וואקום.
10. ניתן לבצע ריתוך ללא חומר מילוי בחלקים בעלי עובי דופן דקים.
11. ריתוך הקרן לייזר אינו מושפע משדה מגנטי
12. ריתוך מאוד מדויק.



לסיכום – חסרונות של ריתוך בקרן לייזר

1. עלות הציוד הינו יקר מאוד יחסית לציוד תהליכי ריתוך אחרים.
2. נושא של בטיחות הינו חשוב ביותר ואי-שמירה על כללי הבטיחות עלול לגרום לנזקים לבני אדם.
3. צריכת אנרגיה גבוהה לעומת תהליכי ריתוך אחרים.
4. תהליך ריתוך המחייב הכנת החלקים (מדרים) בצורה מאוד מדויקת.



תודה על ההקשבה
ומקווה שנהניתם

**MAY THE FORCE BE WITH
YOU**

