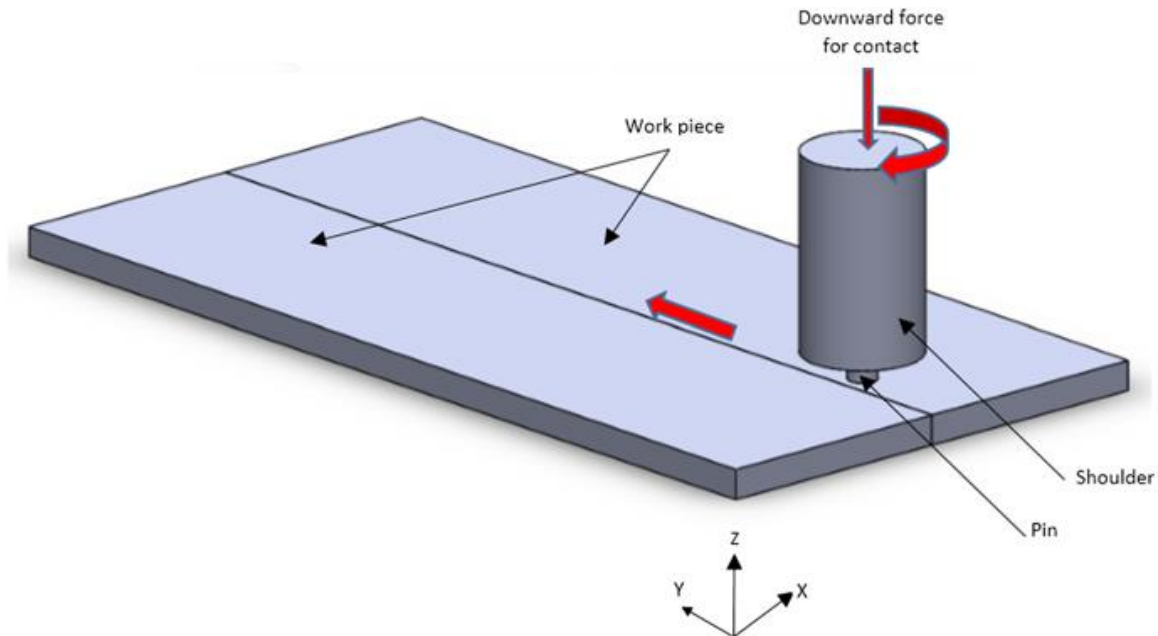


# FSW – Friction Stir Welding



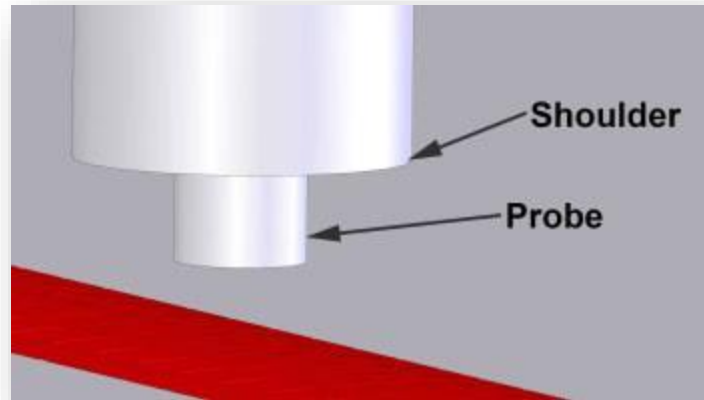
ה-FSW ( ריתוך קר באמצעות חיכוך ) הוא תהליך מתקדם ואיכותי לחיבור חלקים המתאים לרוב השימושים הקריטיים. מסתמנת עליה בשימוש בתהליך בחיבורים מבניים בתעשיית האיירוספייס תוך השגת חוזק גבוהה במחיר נמוך יחסית כאלטרנטיבה לשימוש בחיבורים מסומרים. הריתוך בדרך כלל מזוהה עם התכה שגורמת לחומרים/חלקים להתמזג כאשר אזור החיבור מתמצק. למרות שהריתוך נחשב כדרך יעילה לייצור חיבורים חזקים וקבועים, תהליך ההתכה וההתמצקות בעקבותיו של החומרים גורמת ללא מעט בעיות. בזמן שהחומר נמצא בפאזה נוזלית יכולה להתפתח נקבוביות ( porosity ) ואלמנטים ממרכיבי החומר יכולים להתאדה. כאשר החומר בפאזת ההתקשות עלולים להיווצר סדקים ומבנה גרעיני נחות. מצבים אלו מנמיכים את החוזק באזורי הריתוך ופוגעים במיוחד במגבלות העמידה בעיפות וב damage tolerance. המשמעות שהריתוך הקובנציונלי נחשב לגבולי ולא אמין בצורה מספקת לכל סוגי האפליקציות הקריטיות. בשנים האחרונות כמעט יצא משימוש במבנים תעופתיים. מסתבר, שלא תמיד נדרשת בריתוך התכה מלאה. ה-FSW משתמש בחיכוך לחימום החלק וחיבורו מתחת לטמפרטורת ההתכה תוך הפעלת לחץ שגורם להיתוך של מצב מוצק. תהליך זה מספק מבנה גרעיני דומה לחישול ( forging ) עם סיכון מאד נמוך של סדקים ונקבוביות.

## תהליך ה-FSW

התהליך נוצר ע"י כלי טובב המייצר חיכוך כאשר הוא בא במגע עם החלקים. החמום החלקי/אזורי גורם כתוצאה מכך לחומר להתרכך, ברגע זה הכלי הסובב מתחכך באזור החיבור ונע לאורכו. החומר זורם פלסטית על פני החיבור ללא התכה מלאה באותה דרך שבה זורם חומר

## FSW – Friction Stir Welding

מוצק בתהליך החישול. FSW משמש בעיקר לחיבור נתכי עלית בעלי חוזק גבוהה בתעשיית האיירוספייס למרות שניתן לחבר בעזרתו גם פולימרים. הפטנט המקורי נרשם ע"י TWI ( the welding institute ) בבריטניה. כמובן שתקופת הפטנט פגה ומאפשרת שימוש בטכנולוגיה לכל מפעל או יצרן המעוניין בכך.



ב FSW משתמשים בכלי סובב עם כתף וגשש ( probe ). אחרי זמן שהייה לרכך את החומר הגשש נדחף לתוך החיבור עד שהכתף של הכלי מונחת על השטח. כל עוד שהכלי ממשיך להסתובב, החיכוך בכתף הכלי מרכך את החומר באזור החיבור וגורם ל MIX של חומר. היות והחומר לא הותך ה MIX הזה יכול להיחשב כתהליך חישול.

אפשר לתכנת מכונת כלים סטנדרטית לבצע את תהליך ה FSW. נדרשת התאמה לכלי מכותף פשוט וגשש בולט. לריתוך אלומיניום ניתן לייצר כלי מפלדת כלים רגילה ומוקשת. חברת MAZAK כמו רבות אחרות סיפקה את גרסתה VTC-300C ל FSW.



# FSW – Friction Stir Welding

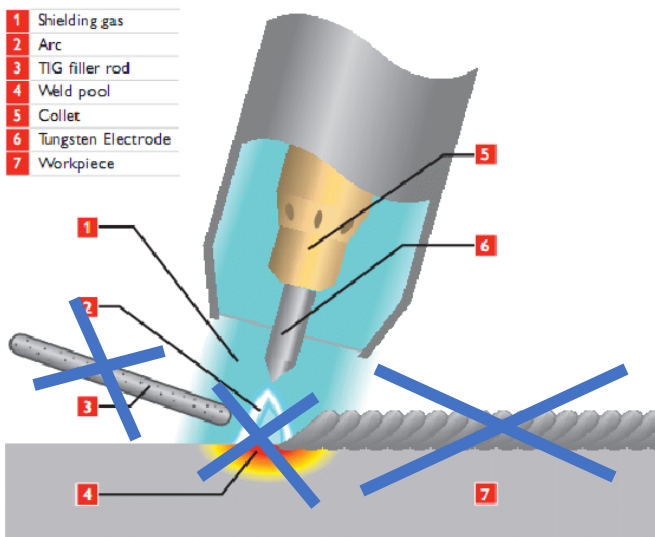
לריתוך של מבנים גדולים והרכבות מועדף להשתמש ברובוט זרוע: איירבוס תומכת בפיתוח כלי ( DELTAN FS ) שיאפשר התקנת כוש עם תומך ל FSW על רובוט למשימות כבדות דוגמאת :

KUKA KR MT

סרטון המחשה : <https://youtu.be/uUzXyPcE7Ho>

## יתרונות/חסרונות FSW

לריתוך FSW יש מגוון יתרונות. "משקל" הריתוך קל יותר מריתוך קונבנציונלי היות ולא משתמשים בו בחומר מילוי ( FILLER ) ולא נוצר BEAD מוגבה כמו בריתוך רגיל.



הריתוך השטוח שמתקבל הרבה יותר אסטטי מריתוך בולט וניתן להסתרה ויזואלית מוצלחת יותר תחת הצבע הסופי. יתרון בולט אחר של FSW הוא מהירות התהוותו יחסית למחברים שדורשים קידוח וסמרו, למרות שהוא יחסית איטי לריתוך הקונבנציונלי.

ה FSW הינו חזק יותר מהריתוך הקונבנציונלי ומחיבור מסומרר היות והחומר לא ניתך, חומרים מסגסים של הנתך לא מתנדפים או מוחלפים בזמן

שההיתוך במצב מוצק יוצר מבנה גרעיני מחושל. המשמעות שהאזור המושפע מהריתוך WEZ ( weld effected zone ) שומר על תכונות החומר המקוריות של הנתך. ההתנגדות לעייפות וה – damage tolerance מסתייעים בעובדה שהסיכון להיווצרות סדקים נמוך. למרות היתרונות הסטרוקטוראליים יתכן מצב שייוצרו גם פגמים ב FSW כתוצאה מכוונון לא נכון של פרמטרים קריטיים כמו מהירות הסיבוב והקדמה. יכול להיווצר מצב של חום לא מספק לתהליך החישול של החלק. יש סיכוי למצוא חריצים גלויים במקומות בהם צריך להיות ריתוך ו/או חללים מתחת למשטח או כשל של קשר חלקי לא מותך בין החלקים. פגמים מסוג זה קשה יותר לגלות מיידית ודורשים תהליכי בדיקה לא סטנדרטיים. העלאת מהירות הסיבוב או הקטנת הקדמה תעלה את הטמפרטורה באזור הריתוך שחייבת להיות מספיק גבוהה לאפשר זרימה פלסטית ללא ראקציה מוגזמת של הכלי שתגרום לאי המסתו של החומר.

# FSW – Friction Stir Welding

מפרספקטיבה של בטיחות וגהות כאשר החומר לא ניתן במלואו אנחנו לא רואים אדים או נתזים וגם לא קשת ריתוך שעלולה לגרום נזק לעיניים לא מוגנות בסביבת ריתוך רגילה.

## שימושי FSW

מספר יצרנים צברו ניסיון ב FSW , BOEING , משתמשת בתהליך באופן נרחב במבנים של רכבי חלל מזה שנים רבות, AIRBUS לעומתם חיברה באמצעות FSW אורכנים לפנלים של גוף המטוס A380. ה FSW הייתה מפתח טכנולוגי להוזלת מטוסי הטקסי VJ ( very light jets ) של אקליפס שהיו הראשונים בסדרה כבר בשנת 2006. למרות שהחברה ובמיזם שלה נכשלו היא הצליחה לפתח ולהמחיש שמטוסי VJ הם מטוסים ברי קיימא ( החברה מכרה את המיזם לסיקורסקי ). הומחש גם שה FSW יכול להפחית משמעותית עלות ייצור מבנים תעופתיים כאשר הוא אומץ במלואו לשימוש בכל המכללים. משנת 1990 FSW משמש באופן נרחב בבניית ספינות מסחריות וצבאיות, כמו גם רכיבים אחרים במבנה על ( superstructure ). רכיב שימוש נוסף שנפתח ל FSW היא תעשיית הרכב שמתעניינת בעיקר בתהליך כתוצאה מהכנסת נתכי אלומיניום לשלדת המכוניות. יש גם שימוש נרחב לתעשיית הרכבת.

הערה למתעניינים ;

יש אפשרות לקבל קורס הכשרה ב FSW ע"י TWI לכ דורש ולכל אפליקציה.

בהצלחה