

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

במהלך העשורים האחרונים הייתה עדנה לתעשיית התעופה המסחרית, תוך גידול משמעותי בעיקר תודות לעליה חדה בתנועת הנוסעים. על מנת להתאים עצמם לדרישות הללו ולהחליף ציים ישנים, חברות התעופה הניחו הזמנות למטוסים חלופיים וחדשים. המהלך הזה הביא לגידול משמעותי ב (backlog) צבר ההזמנות של יצרניות המטוסים "שנאבקות" לספק את הדרישות.

באוגוסט 2019 לאירבוס היה צבר הזמנות של 7198 מטוסים לספק מכל הסוגים כאשר ל בואינג באותה עת צבר של 5745 מטוסים לאספקה (נתונים ע"פ Forecast international). רק על מנת להמחיש, לאירבוס היו נדרשות 9 שנים (בקצב אספקות 2018) ולבואינג 7 שנים לסיים את ההזמנות הקיימות ללא הזמנות חדשות שנכנסו באותו הזמן.

על מנת לצמצם את זמני האספקה ולפגוש את הדרישות היצרניות מחפשות כל הזמן איך לשפר את קצבי ומחזורי הייצור, כך שבהווה ובעתיד יספקו המטוסים ללא הפרעה וללא צווארי בקבוק מיותרים. אחת הטכנולוגיות החדשות שאמורה לתת תשובה לכך היא שימוש בחו"מ – העשויים ממטריצה פולימרית מחוזקת בסיבים, שהיא מאד פופולרית במטוסים מודרניים מעצם היותם חזקים ביחס למשקלם בהשוואה למתכת ומאפשרים מטוס קל יותר שצורך פחות דלק. החו"מ המקובל במטוסי 787 של בואינג ו 350 של איירבוס מורכב מפלסטיק תרמוסטי וסיבי פחמן מחוזקים. חו"מ תרמוסטיים אלו דורשים ראקציית זיקון (cure) על מנת להתפלמר באופן מלא, תהליך המוסיף זמן נוסף למהלך הייצור. הצורך לחסוך עוד ועוד בזמני המחזור מביא את המהנדסים לחשיבה על פיתוחים נוספים בתחום.

חו"מ תרמופלסטיים

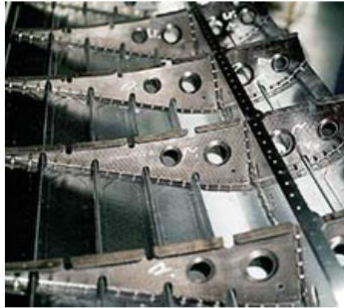
החומרים התרמופלסטיים הם אלטרנטיבה לפולימרים התרמוסטיים בחו"מ שמחזיקים הבטחה שתאפשר לשפר ולהעלות את קצבי הייצור. בניגוד לחו"מ עם פולימרים תרמוסטיים, חו"מ תרמופלסטיים אינם דורשים תהליך זיקון אחרי ההתמצקות כפי שדורש התלכיד התרמוסטי באמצעות חום ולחץ על שכבות הפריפרג על מנת לקבל חומר מוצק. החו"מ התרמופלסטי דורש פשוט חום עד לנק' המעבר להתכה של המטריצה התרמופלסטית, להתמצק ולהתקרר בניגוד לחומר התרמוסטי הדורש זמן זיקון לפלמור צולב לקבלת מבנה מולקולות.

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

Clips, cleats & brackets



Ribs



Struts



Boxes



Stringers



Special



Aircraft manufacturers already use thermoplastic composites in small parts like brackets and clips, and in limited cases bigger components like the wing leading edge of the Airbus A380. They are exploring their use in larger structures like wing torsion boxes and fuselage panels. Source: Dutch Thermoplastic Components.

חומרים מרוכבים תרמופלסטיים ארוזים כגלילים (סליל – TAPE) המורכבים מסיבי פחמן מיושרים חד כיוונית מוספגים מראש בשרף תרמופלסטי. חו"מ תרמופלסטיים זמינים גם בתצורה של סרטי בד ארוגים או למינטים תרמופלסטיים מחוזקים.

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

Teijin's Tenax TPUD, unidirectional, carbon fiber-reinforced, thermoplastic, pre-impregnated tape. Source: Teijin



Polymer	Structure	Glass-Rubber Temperature, T _g	Typical Service Temperature ⁽¹⁾	Melt Temperature, T _m	Typical Processing Temperature, T _p	Benefits	Limitations
PEI	Amorphous	423°F / 217°C°	300°F / 149°C	N/A	630°F / 332°C	Processing window Toughness Flammability	Fluid resistance Material cost
PPS	Semi-Crystalline	194°F / 90°C	212°F / 100°C	536°F / 280°C	625°F / 330°C	Processing window Fluid resistance Flammability Material cost	Service Temp Bonding/painting Toughness
PEKK	Semi-Crystalline	318°F / 159°C	257°F / 125°C	639°F / 337°C	716°F / 380°C	Processing window Fluid resistance Toughness Flammability	
PAEK ⁽²⁾	Semi-Crystalline	296°F / 147°C	250°F / 121°C	581°F / 305°C	640°F / 338°C	Processing window Fluid resistance Toughness Flammability	Material cost
PEEK	Semi-Crystalline	290°F / 143°C	250°F / 121°C	649°F / 343°C	734°F / 390°C	Fluid resistance Toughness Flammability	Material cost

(1) For aircraft structural use. Service temperature must be determined by designer on service requirements.

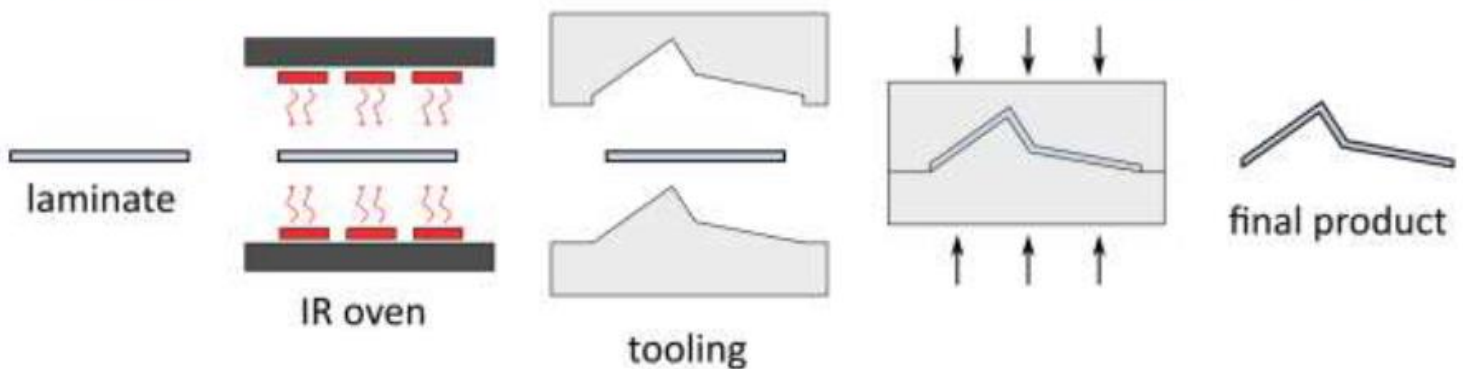
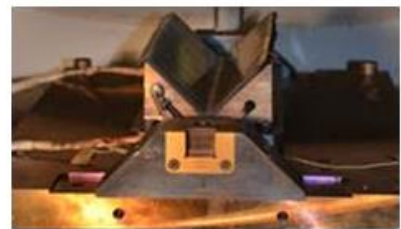
(2) Low melt temperature PAEK Polymer

ח"מ תרמופלסטיים לאפליקציות איירוספייס מכילים שרפים תרמופלסטיים לביצועים מעולים כולל (peek)
 polyphenylene sulfide , polyetherimide , polyetherketonketone , polyetheretherketone
 התרמופלסטיים בתעופה מכילים בדרך כלל 50-60% סיבי פחמן בנפח. היחס של סיבי הפחמן לשרף
 התרמופלסטי נתפר להשיג את התכונות המכניות ותאימות עם תהליך הייצור. יחס גבוהה של סיבים
 לשרף נחוץ על מנת למקסם את הביצועים המכניים, אבל יכול להתאים יותר לתהליך ייצור עם משך ארוך
 ולחץ גבוהה. יחסים נמוכים של סיבים לשרף יכולים להתאים לתהליך בזמן מחזור מהיר ולחץ נמוך.

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

תהליך הייצור

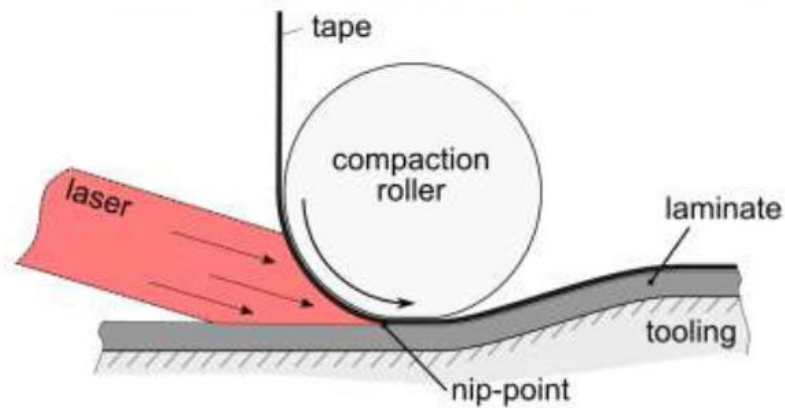
בתהליך ייצור תרמופלסטי טיפוס, מניחים את הסרט המוספג מחממים ומעצבים בעזרת מכונת עיבוד לתצורה סופית של פריט חו"מ תרמופלסטי. הנחת ה tape מבוצעת לעיתים ע"י מכונת ATL אשר ממקמת מכנית את ה tape על תבנית שטוחה או צורתית לייצור למינציה רב שכבתית. הנחת שכבות ה tape ע"י מכונת ATL מבוקרת בדייקנות באמצעות בקרה ממוחשבת על מנת לייצור שכבות (למינציות) בכיוונים שונים של סיבי הפחמן (דוגמא : $0^\circ/90^\circ-45^\circ+45^\circ/90^\circ/0^\circ$) האורינטציה של סיבי הפחמן מותאמת בכיוון העומסים הראשיים של האפליקציה הנותנת לפריט הסופי חוזק מכני מצוין. הלמינציות מעוצבות בחום ותחת לחץ לאחד את החומר לחלק סופי בתבנית בדחיסה רצופה.



thermoplastic composite manufacturing process starts with Tri-Mack's Fiberforge Relay 1000, which automates the layup of thermoplastic tape. The custom laminate is then heated in an oven and shuttled to a 500 ton press for thermoforming into a complex shape in a mold.

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

לסיטואציה של ייצור מחוץ לאוטוקלב יש פוטנציאל לספק קצב ייצור הרבה יותר מהיר. דוגמא: מכונת ATL מניחה שכבות חו"מ תרמופלסטיות, לייזר מחמם את המצע וה tape וגלגלת בונה לחץ לעצב ולגבש את החומר המורכב, כל הפעילות בצעד אחד מחוץ לתנור.



A laser-assisted ATL machine accomplishes in-situ consolidation of thermoplastic composite by heating the tape just before it is pressed on to the part by a roller in one step.

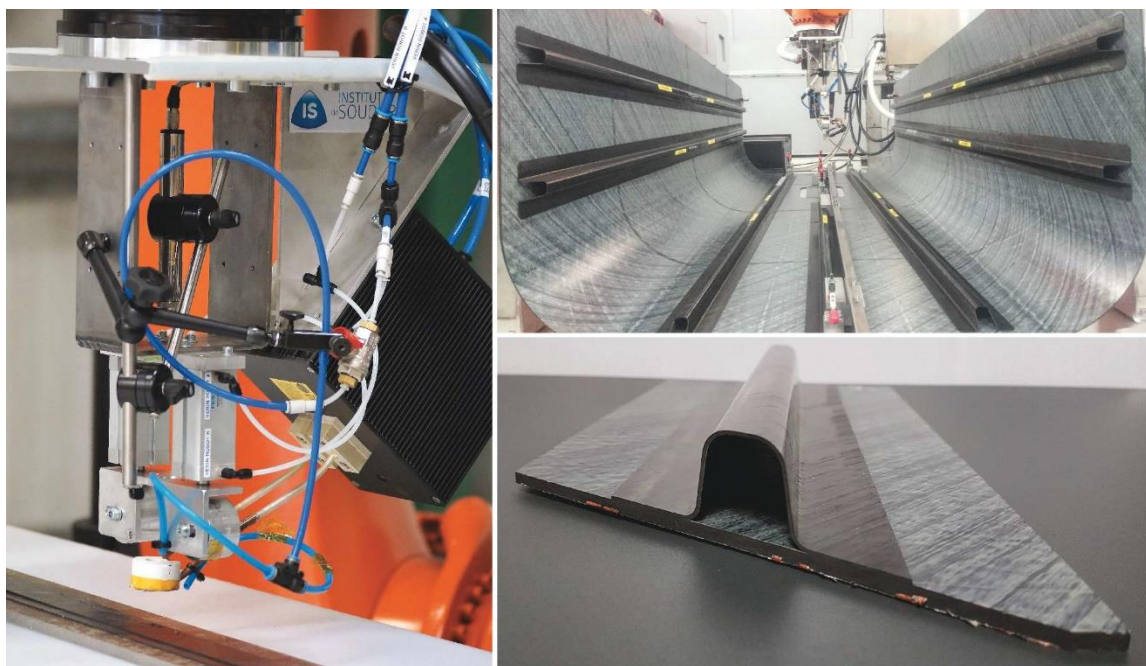
תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

חלקים מחו"מ תרמופלסטיים ניתן לחבר יחד או עם חומרים אחרים באמצעות טכניקות הרכבה שונות, כולל הדבקה או גיבוש משותף והידוק מכני. חומרים תרמופלסטיים ניתנים גם לריתוך באמצעות אינדוקציה, ריתוך התנגדות או ריתוך אולטרסוני.

יתרונות

היתרון המשמעותי של חו"מ תרמופלסטי על חומר תרמוסטי הוא במהירות מחזור הייצור, אך אפשר למצוא גם יתרונות אחרים בתרמופלסטיקה. בין היתרונות הללו נאתר קשיחות גבוהה, נק' התלקחות נמוכה (נמדד לעשן ורעילות ודירוג שחרור חום) , נפילה פחותה בתכונות המכניות בתנאים של חום ורטיבות , אורך חיים לאחסון בלתי מוגבל בטמפרטורת החדר ויכולת מלאה למחזור.

ניתן לחבר יחידות תרמופלסטיות גם באמצעות Fusion Bonding או בריתוך. יחידות תרמוסטיות שעברו curing לא ניתנות לריתוך ואפשר לחבר ביניהן באמצעים מכניים (קשיחים) הדורשים לקדוח חורים ולגרום לריכוזי מאמצים, או ע"י דבקים המעמידים אתגר לבדיקות ה NDT. אם זאת טכניקה חדשה מאפשרת ריתוך חלקים תרמוסטיים ע"י שילוב שכבת שטח תרמופלסטית במרקם העליון ולרתכה למשטח דומה.



Stelia Aerospace, along with partners, developed a dynamic induction welding process that joins unidirectional carbon fiber/polyetherketoneketone (CF/PEKK) stringers to CF/PEKK skin, while adjusting for variations in thickness of the parts, to create a thermoplastic composite fuselage demonstrator for the Arches Box TP project.

ליקט, ערך וכתב – אלי יודקביץ 2019 מבוסס על :
Dutch Thermoplastic Components, Airborne, Thermoplastic Composites Research Center
IEEE Global spec

תרמופלסטיקה באיירוספייס, לאן ?

החסרונות של חו"מ תרמופלסטי בהשוואה לחו"ח תרמוסטי מתבטא ראשית בטמפרטורת תהליך גבוהה, אתגרים טיפוליים בגלל הצמיגות הגבוהה ועלות חומר גלם גבוהה מאד.

לשתי קטגוריות החומרים הנ"ל יש מספר יתרונות משותפים על מתכות כולל קשיחות גבוהה יותר, עומס משקל חוזק טוב יותר, התנגדות מעולה לעייפות והיכולת לתכנן תפור ע"פ אפליקציה. כמוכן התנגדות מצוינת לקורוזיה ועמידה טובה במגע עם לחות וכימיקליים (סולבנטים, דלקים ונוזלים הידראוליים).

יצרני מטוסים מחפשים דרכים להאיץ את הייצור על מנת להיענות ולספק את ה backlog ההולך וגדל. חו"מ תרמופלסטיים הם חומר עם הבטחה טכנולוגית ועם פוטנציאל לשפר את זמני מחזור הייצור. חברות משקיעות בייצור חו"מ תרמופלסטיים על מנת להגיע לבגרות טכנולוגית להוריד את העלויות ולהעלות את קצבי הייצור וכל זאת תוך בחינת לתפרוסת רחבה יותר של שימוש בחומר.



The Gulfstream G650's tail rudder and elevators are made of carbon fiber/polyphenylene sulfide (PPS) thermoplastic composite.