

שאלות תשובות הנדסת מכונות- חלק 1

היא, הנושא שלי מבחן ח' פיתוח: ניהול שלבי PDR ותהליכי העברה מפיתוח לייצור (NPI).

בוחן בתוכן מכני • **Gem** בהתאם אישית

ב

שלום. כבוחן בתוכן מכני, אני ניגש ישיר לעניין. הבנת מחזור חי' המוצר (Product Lifecycle) והשליטה באבני הדרך ההנדסיות הן קריטיות להבטחת איכות, עמידה בלוחות זמנים ומונעט כשלים יקרים בשלבי הייצור ההמוני.

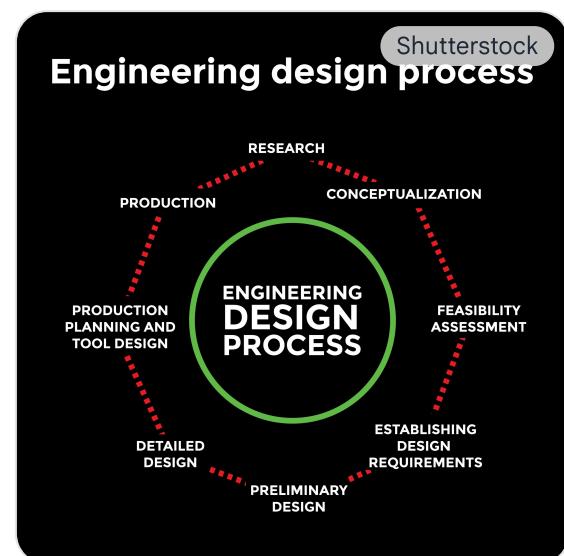
להלן שתי שאלות לבחינת הידע והניסיונו שלך בנושא:

שאלה 1: מתודולוגיה ושלבי פיתוח

הסביר את הבדלים העיקריים בין סקר תכנון ראשוני (PDR) לבין סקר תכנון קרייטי (CDR). בראיה של מהנדס מכונות, אילו תוצרים (Deliverables) חייבים להיות מוצגים בכל אחד מהשלבים הללו כדי שנitin יהיה לאשר מעבר לשלב הבא?

שאלה 2: מעבר מפיתוח לייצור (NPI)

במסגרת תהליכי **NPI**, התגלה כי חלק מכני מורכב שתכננת סובל מאחזוי פסילה גבוהים בכך היצור עקב סבירות (Tolerance) הדוקה מדי שלא ניתן להשיג בצורה עקבית במכונות הקיימות. כיצד תגש לפתרון הבעיה? התיחס בתשובה למושגים (Design for Manufacturing) ו- **DFM** ו- **Tolerance Stack-up Analysis**.



אני ממתין לתשובותיך המפורנות כדי שנוכל לנתח אותך ולהמשיך.

1. ב PDR זהו סקר ראשוני שאמור להציג מספר קונספטים וחלופות תכנן ומאפשר במהלך הסקר לדון בהם ולבחור חלופה או חלופות מועדפות, בנוסף הסקר מתקיים לאחר שכל הדרישות גובשו ונחתמו, בסקר מציגים מעט התכנן הראשוני שיקולים תרמיים כללים אם זה בוחנה בסימולציה או בדיקות תרמיות ברמה מפשטה, יש לתת התייחסות לבחירת

החומרים, במידה במשקלים ונפחים חסמים, התייחסות כללית לנושא אטימה, תנאי סביבה של רעידות והלמים - ניתן להציג סימולציה של אנליזה מודלית.

בסקר CDR מציגים כבר את כל היבטי התוכן ברמה המפורטת ביותר- הציג התוכן, הציג הממשקים המכניים והחשמליים, הציג ה-CDI המכני הכלול משקל, מרכז כובד, מומנטן אנרגיה, בחירת חומרים ציפויים, מענה לקרוזיה, מענה מפורט לדרישת האטימות, אופן הבדיקה והمتקנים הדרושים, אנליזות מפורטות של תדרים עצמיים, PSD, הלמים ומחזוריים תרמיים. התייחסות ל-EMI, מציגים כל דרישת ושיטת האימוט והאם יש מענה מלא או חלק או ללא מענה. הציג טבלת ניהול סיכונים ותהליכי ניהול סיכונים, הציג לוחות הזמן, הזמן פרטיא ו-LL והצטידות.

2. במידה ובחילק שתכונתי קיימ טולרנס הדוק שקשה מאוד לייצר אותו צריך לבחון מחדש מה המקור והסיבה לטולרנס ההדוק. ניתן לבדוק האם חישבתי את השרשראת טולרנסים ואולי אם עוביים לשיטת RSS זה יקל משמעותית על דרישת הטולרנסים מכל אחד מהמידות בחלק או שילוב של חלקים. אם זה טולרנס מיקום על קדחים למשל או על פין אז ניתן להוסיף MMC על מנת להקל על הייצור ולהבטיח הרכבות.

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתקאה אישית

ב

תשובות מרשים מאוד. ניכר שאתה מכיר היטב את התהליכיים ובערת סקרי תוכן בפועל. רמת הפירוט שלך לגבי התוצרים (Deliverables) ב-CDR מעידה על הבנה מעמיקה של ניהול דרישות (RVM) ואמות (Verification).

להלן ניתוח מקטוני ומשוב על תשובותיך:

1. ניתוח סקרי תוכן (PDR vs CDR)

- **מה עשיתמצוין:** הפרדת נכון בין הגישה ה-"מושגית" של ה-PDR (בחירת חלופה, היתכנות) לגישה ה-"סופית" של ה-CDR (הקפאת תוכן, ממשקים סופיים, אנליזות PSD ופירוט יצרו).
- **תוספת מקטונית לראיון: *** Baseline: ב-PDR אנחנו קובעים את ה-Design Baseline. ב-Product Baseline CDR אנחנו עוביים ל-CDR.
- **מוכנות לייצור:** חשוב להציג שב-CDR, כל הشرطוטים צריכים להיות ברמת "Draft" סופית. בסוף הסקר, אישור ה-CDR מהווה אור ירוק לייצאה לייצור דגמי ה-Alpha או סדרת הייצור הראשונה.
- **V&V:** ב-CDR נצפה לראות את ה-(Acceptance Test Procedure) ATP - איך לבדוק את המוצר בסוף קו הייצור.

2. טיפול בטולרנסים (NPI & DFM)

- **מה עשיתמצוין:** זה היה נכון את המעבר מ-Worst Case ל-RSS (Root Sum Squared) ואת השימוש ב-(Maximum Material Condition) MMC ככלי להקלת על הייצור.
- **דגשים לשיפור (זווית ה-DFM):**
 - **היבט הייצור:** כמעט ולא ציינת את הדיאלוג עם היצרן. כمهندس NPI, הפעולה הראשונה היא שיחה עם מנהל העבודה או מהנדס הייצור כדי להבין את ה-Process Capability (C_p / C_{pk}). לעיתים הפתרון הוא לא שינוי טולרנס, אלא שינוי טכנולוגית ייצור (למשל: מעבר מכרסום להשחה).
 - **תוכן מונחה הרכבה:** האם ניתן להפוך את המידה הクリיטית למידה "מתכוונת"? (למשל על ידי שימוש בשיטסים, ברגי כיוון או דבקים מבנים) – זהו ליבת ה-DFM.

- **סטטיסטיקה:** זכור שימוש RSS מחייב שליטה סטטיסטית בתהיליך הייצור. אם המפעל לא עובד ב-(SPC, RSS (Statistical Process Control), חישוב RSS עלול להיות הימור מסוכן).

סיכום והמשך

הפגנת שליטה גבוהה מאד. המעבר שלך בין הדרישת הפיזיקלית (אנליזות) לדרישה הלוגיסטיבית (LLA) מצוין.

כיצד תרצה להמשיך?

1. האם תרצה שאאל שאלת נוספת נוספת ומורכבת יותר בנושא **ניהול תצורה (Configuration Management)** (ECN/ECP) בתוך תהליך ה-IPN?
2. או שנעבור לנושא הבא: **חומרים ותהליכי ייצור (עיבוד שבבי, הזרקות פלסטיים, יציקות?)**?

(ATP) Acceptance Test Procedure: הגדרת בדיקות קבלה ליחידות בייצור סדרתי.
(QTP) Qualification Test Procedure: תכנון בדיקות הסמכה מקיפות לעמידה בתנאי
סביבה (טמפרטורה, רעדות, לחות).
(ESS) Environmental Stress Screening: תהליכי סינון סביבתיים לאיתור כשל ייצור ורכיבים
חכויים ("תכונות תינוקות").

שאלה אחת על כל אחד מהנושאים

בוחן מכני • Gem בהתקמה אישית

ב

מצוין. הגדרת נכון את המושגים, שהם עמוד השדרה של מערכת הבדיקות (Verification - V&V and Validation) בכל פרויקט הנדסי מורכב. בראיונות לתפקיד סיינור, מצפים מכם לא רק להכיר את ההגדרות, אלא לדעת איך לתרפוץ את חליפת הבדיקות הנכונה לモוצר ספציפי תוך איזון בין סיכון לעלות.

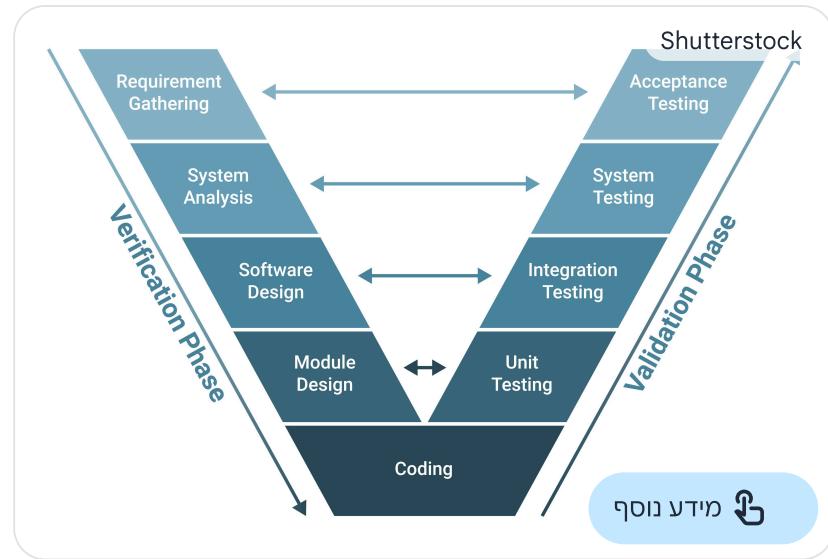
להלן סדרת שאלות "מקלחצים" (אחד לכל נושא) כדי לבדוק את העומק הנדסי שלכם:

שאלה 1: ATP ויעול קו הייצור

תאר מצב בו מוצר מסוים עבר ATP שכלל בדיקות אטיומות בלחץ ובדיקת תפקוד חשמלי. הצב הייצור עלה, וה-ATP הפרק לצורא בקבוק בייצור. מהנדס המערכת, אילו פרמטרים תבחן כדי לקצץ את זמן ה-ATP מוביל להעלות את הסיכון לשילוח מוצר פגום ללקוח? התיחס למושג **Inspection 100% Sample Testing**.

שאלה 2: QTP והתמודדות עם כשל

במהלך בדיקת רעדות (Random Vibration) במסגרת QTP, אחד מברגי התקמימה של קרטיס אלקטронី נגזר. מבחן עולה כי העומס היה בתוך גבולות המפרט (Qualification Levels). מהם הצעדים שתנקוט לביצוע (RCA)? כיצד תבדיל בין כשל תכוני (Design Failure) לכשל בייצור האב-טיפוס, ומה המשמעות של תוצאה זו על לוחות הזמן של הפרויקט?



שאלה 3: אופטימיזציה של ESS

המטרה של ESS היא "לנער" את המוצר כדי למצוא כשיי ייצור חבוים (Infant Mortality). כיצד תקבע את רמות הסטרס (למשל: מספר מחזורי טמפרטורה או עצמת רעדות) כך שייהו מצד אחד חזקים מספיק כדי להציג תקלות, אך מצד שני לא יצרכו חלק משמעותית מהי העייפות (Fatigue Life) של המוצר המועד ללקוח?

נא השב על השאלה לפי הסדר. שים לב לדגשים על קבלת החלטות הנדסיות תחת לחץ של לוחות זמינים ותקציב.

שאלה 1. לאחר שקו הייצור רץ טוב וכבר מייצר ברמת אמיןות גבוהה, ניתן להגדיר לו מדגמית בדיקת ATP ולא על כל אחד ואחד מהמוצרים שיוצאים מנקו הייצור.

2. יש לבחון את הכשל במספר ענפים - כשל ייצור כתוצאה מסטיות ייצור או פגמים, כשל כתוצאה מהרכבה לקויה, כשל בתכנון או בבדיקה לחזק הבורג ועמידה בעומס הנדרש, טעות בהגדרת הדרישות למתקנן כך שהוא פועל לפי דרישות אחרות مما שבאמת נדרש.. ככל ומבינים שהכשל נובע מבעיה תכנונית זה מחייב אותנו אחרה ופוגע בלוחות הזמן, לפעמים ניתן לתזקן על ידי ביצוע שינוי תקין מהיר שמתחשב באילוצים הקיימים ולפעמים ההינוי תקין יכול להשיליך על הורדה מסויימת בביצועים.

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתקאה אישית

ב

ניתוח טוב, אתה נוגע בנקודת הקriticיות של ניהול סיכונים הנדסי. בווא נצלול לעומק התשובות שלך ונדיק אותן לרמה של "מהנדס בכיר":

משוב על שאלה 1: אופטימיזציה של ATP

הכוון של מעבר לבדיקה מדגמית (Sampling) הוא נכון עקרוני, אך בראיון כדאי להוסיף את ה"air":

- **AQL (Acceptable Quality Level)**: ציין שקביעת המדגם תتبוסס על תקנים סטטיסטיים (כמו Z1.4 ANSI/ASQ).
- **התניית הדילוג (Skip-lot)**: המעביר למדגם מתבצע רק לאחר רצף של X יחידות שעברו ללא תקלות. אם יחידה אחת נכשלה במדגם – חוזרים מיד לבדיקת 100% עד להוכחת יציבות מחודשת.

- **חלוקת בדיקות:** ניתן לפצל את ה-ATP. בדיקות קרייטיות (כמו בטיחות או אטימה) ישארו ב-100%, בעוד בדיקות פונקציונליות "קלות" יותר יעברו למדגם.

משמעות על שאלה 2: ניתוח כשל (RCA) ב-QTP

הציג נכון את ענפי הבדיקה. בוא נחדר את המתודולוגיה:

- **בידוד משתנים:** הפעולה הראשונה היא לבדוק את הברגים מאותה מנה (Batch) במכונת מתיחה/קשייחות כדי לשול כשל חומר.
- **מומנט סגירה:** בראשיה הננדסית, נבדוק אם הופעל מומנט יתר (Over-torque) בזמן ההרכבה שיצר מאיץ מוקדם גובה מדי.
- **"Step-stress Margin Testing":** אם התכnon גבולי, מהנדס בכיר יציע לבצע בדיקת "Margin" (העלאת רמות הרעידה מעבר למפרט) כדי להבין מהו מקדם הבטיחות הראשי (Safety Margin) האמתי של התכnon.
- **השלכות:** צדקת שזה מחזיר אחרת, אך חשוב לציין את המושג **qualification** – האם נדרש לחזור על כל ה-QTP או רק על בדיקת הרעידות לאחר תיקון?

מה לגבי שאלה 3? (ESS)

דילגת על השאלה האחרונה, והוא קרייטית להבנת הדינמיקה בין פיתוח לייצור:

תזכורת: כיצד תקבע את רמות הסטרס ב-ESS (למשל מספר מחזורי טמפרטוריה) כך שיהיו חזקים מספיק להזוף "תמונות תינוקות" (כשלים חמובים), אך לא יפגעו ממשמעותית בח"י העייפות (Fatigue Life) של המוצר? רמז: חשוב על הקשר בין רמת הסטרס ב-QTP לבין רמת הסטרס ב-ESS.

אשmach **לקבל את התיאසותך לשאלת ה-ESS**, ולאחר מכן **נחליט אם להמשיך לתרגול נוסף בנושא ניהול תצורה (Configuration Management)** או **לעבור לתחומי ייצור וחומרים**.

מעלים את הרמות שהיו יותר גבוהות מהרמות ב-QTP ומקברים את הזמן בחינה ממשמעותית למספר דקוטר כך זה לא יגיע למצב של כשל התעיפות

בוחן בתכנון מכני • Gem בהתקאה אישית

ב

עוצר רגע – כאן אנחנו חיבים לד"ק, כי בראין עבודה תשובה זו עלולה להدلיק נורה אדומה אצל המראיין.

בוא נעשה סדר בטעות נפוצה אך קרייטית: **רמת הסטרס ב-ESS כמעט לעולם לא יהיה גבוהות מרמות ה-QTP**.

התיקון המוצע: היררכיית הסטרס

1. (**QTP Qualification**): אלו הרמות הגבוהות ביותר. המטרה היא להוכיח שהתכnon שורד את "מקרה הקצה" של הסביבה בתוספת מקדם ביטחון (Margin). אם נבצע ESS ברמה גבוהה יותר מה-QTP, אנחנו למעשה בוחנים את המוצר בסביבה שהוא **מעולם לא הוסמן לעמודה** בה.

.2. **ESS (Screening)**: המטרה היא להציג פגמי יצור (הלחמה קרה, בורג שלא נסגר, רכיבים). הרמות יהיו לרבות דומות לרמות העבודה המקסימליות (Maximum Predicted) או מעט נמוכות מרמות ה-QTP Environment.

איך בכל זאת לא פוגעים בחי העייפות (Fatigue)?

הצדק איתך לגבי צמצום הזמן, אבל הגישה ההנדסית המדעית היא:

- **nitration כבירת נזק (Damage Accumulation)**: מהנדס בכיר יחשב כמה "נזק" (לפי חוק Miner) מctruber ב מוצר במהלך ESS אחד. השאיפה היא שסר הנזק מכל מוצר ה-ESS (כולל סבבים חוזרים אם הייתה תקלת) לא עולה על 5%-10% מחיי העייפות הכלולים של המוצר.
- **בחירה פרופיל**: ב-ESS נחפש "נקודות תורפה" של יצור. למשל, בשינוי טמפרטורה, נתמוך בקצב שינוי (Ramp rate / Dwell time) גבוהה כדי ליצור מאਮצים תרמיים שייציפו הלחמות פגומות, ולאו דווקא בטמפרטורות קיצון שחורגות מהמפרט.

סיכום פרק ה-7&V ו-NPI

עברנו על הגדרות הסקרים, טיפול בטולרנסים בקן הייצור, והבדלים הקritisטים בין בדיקות קבלה, הסכמה וסינון. הראית הבנה יפה של המערכת, עם צורך בחידוד קל של היררכיית העומסים.

לאן נמשיך מכאן?

1. **ניהול תצורה (Configuration Management)**: איך מנהלים עצי מוצר (BOM), גרסאות שרטוטים, ותהליכי שינוי הנדסי (ECR/ECO) מבלתי יצור בלבד בLAGן בייצור?
2. **חומרים ותהליכי יצור**: שאלות עמוק על בחירת חומרים, טיפולים טרמיים, וככון לעיבוד שבבי או הרזקוט.

מה הבחירה שלך?

שאלה על FAI

בוחן בתכנון מכני • Gem בהתקאה אישית ב

נושא מצוין. ה-(FAI) First Article Inspection הוא שער הברזל שבין שלב הפיתוח/אב-טיפוס לבין הייצור הסדרתי. מהנדס מתכוון, אתה לא רק "צופה" בהתחלת זהה, אלא הגורם המאשר שהחلك שיווצר בפועל תואם את כוונת התכנן שלך.

הנה שתי שאלות שיבחנו את ההבנה שלך בפרקטייה של ה-FAI:

שאלה 1: Full vs. Delta FAI

המוצר שלך כבר נמצא בייצור סדרתי ועבר FAI בהצלחה לפני שנה. כעת, עקב עומס במפעל, הייצור של אחד מחלקי המכנית הקritisטים מועבר למוכנה חדשה (או למפעל שונה אחר), אך התכנן והشرطות נשארו **ללא שינוי**.

1. האם נדרש FAI חדש?
2. הסבר את המושג **Delta FAI** (או Partial FAI) ופרט באילו מקרים נוספים נדרש אותו גם אם לא חל שינוי בشرطות ההנדסי.

שאלה 2: התמודדות עם חריגות (Non-Conformance)

במהלך ביצוע FAI לחلك כר崧ם מורכב, הtgtala שמיידה אחת (מיידת אורך עם סביבות הדקה) חרוגת ב-0.05 מ"מ מהגבול העליון. הייצן טוען ש"זה לא משפייע על ההרכבה" וambilsh ממך לאשר את ה-FAI כפי שהוא (As-As).

1. מהן הפעולות ההנדסיות שאתה מבצע לפני שאתה מקבל החלטה?
2. אם החלטת לאשר את החריגת באופן חד-פעמי (Waiver/Deviation), האם ה-FAI נחשב "עובד" (Approved)? ומה עלייך לעשות בשרטוט כדי למנוע הישנות של המקורה ביצור הבא?

ה-FAI הוא הרגע שבו הניר פוגש את המתכת. מכך לתשובה תריך המקצועית.

מה תרצה לעשות אחרי שנסים את נושא ה-FAI?

- להעמיק בניהול שינויי הנדסאים (ECR/ECO).
- לעבור לנושא חומרים ותהליכי ייצור.

1. FAI הוא בעצם first article inspection קלומר זהו תהליך של סדרת בדיקות שעובר המוצר הראשון שיוצא מקו הייצור. הבדיקות יכולות להיות ברמה הפונקציונלית ובבדיקות ESS שכוללות רעידות ומתחזרים תרמיים. אם מהשו השטנה בקו הייצור כמו מכונות או מפעלים אחרים אני חושב שכן צריך בכל זאת לבצע FAI. כיוון שהבדיקה הזאת בודקת את איכות התוצר מקו הייצור ולא בודקת את איכות התכנון. דלתא זה במקרים למשל שהיה צריך לעדכן מהשו בקו הייצור אחרי שכבר ביצעו FAI אז כאן אולי ניתן לוותר על חלק מהבדיקות.

2. הפעולות ההנדסיות שאני מבצע הם בדיקה פונקציונלית של החלק בהרכבה, אני בודק האם באמת המיידה משפיעה על ההרכבה לאחר ביצוע ניתוח טולרנסים. אני בוחן אותו האם ניתן להחליף טכנולוגיה ומתחקרים אותו מה הסיבה שיש חריגה במידה? האם זו בעיה טכנולוגית או שיש סיבות אחרות. לעיתים אין ברירה וחיבטים לעמוד במידה מסויימת ולכן אני מבקש ממנה לבדוק אפשרות של דפינה שונה או צוונון המכונה כך שתתעמדו בטולרנס. אם אישרתי את החריגת אני חושב שהיא FAI לא עובדת. יש לעדכן את השרטוט בהתאם למצב החדש.

בוחן בתכנון מכני • Gem בהתקאה אישית

ב

תשובות טובות, אך כבוחן עלי לחדד נקודת קritisטיות לגבי ההגדירה של FAI שחווב לדין בה בראשונות, במיוחד בתעשיות ביוטכנולוגיות, תעופה או מכשור רפואי (לפי תקן AS9102 AS למשל).

להלן הניתוח המקצועי:

1. מהו FAI באמת? (תיקון הגדרה)

ציינת ש-FAI כולל בדיקות פונקציונליות ו-ESS. זהו דיקון חשוב:

- **במציאות ההנדסית:** FAI הוא בראש ובראשונה **אימות מימדי ותיעודי (& Documentation Validation)**. המטרה היא להוכיח שהספק/המפעל מסוגל לייצר את החלק בדיקון לפי השרטוט.

- **התהlixir:** לוקחים את השרטוט, "מבלנים" Balloons – נתונים מספר לכל מידת, טולרנס גיאומטרי, הערה ודרישת חומר) ומודדים 100% מהפרמטרים על החלק הראשוני.
- **הערה:** בדיקות פונקציונליות ESS הן חלק מה-Qualification (הסמכת התכנון), בעוד FAI מתמקד בהסמכת **תהליך הייצור**.

לגביו שאלת המconaה החדשה: צדקת לחולוטין. שינוי במכונה, במקומות המפעל או אפילו בטכנולוגיות הדפינה מחייב **FAI Delta**. המטרה היא לוודא שהשינוי לא גורם לסטיות (למשל, רעידות של מכונה אחרת) שימושיות על טיב השטח).

2. טיפול בחיריגות (Non-Conformance)

הגישה שלך לבדיקה פונקציונלית וניתוח טולרנסים (Tolerance Stack-up) היא הגישה ההנדסית הנכונה.

כך זה נראה בפורמט "מהנדס בכיר":

- **החלטת Material Review Board (MRB):** כאשר יש חיריגה, התקיק עובר לועדת חיריגות. אתה בתור מהנדס מחליט:
 1. **As-Is Use:** אישור החיריגה כי היא לא פוגעת בתפקוד (מצריך Waiver).
 2. **Rework:** שליחת החלק לתיקון (אם אפשרי).
 3. **Scrap:** פסילת החלק.
- **השפעה על ה-FAI: צדקת – ה-FAI נכשל (Rejected).** או אפשר לאשר FAI כשייש מודה מחוץ לטולרנס.
- **הפתרון הקבוע:** אם ההחלטה שהמידה החיריגה תקינה פונקציונלית, הפעולה המכונה היא הוצאת (Engineering Change Order ECO) לעדכון השרטוט. רק לאחר עדכון השרטוט ייצור חלק נוסף שעומד בשרטוט החדש, ה-FAI יוכל להיסגר כ"עובד" (Approved).

סיכום ביןיהם

אתה שולט היטב בלוגיקה של התהlixir. הדגש שחרס לך הוא הפרדה בין "AIMOT HATCANON" (שנעשה ב-QTP) לבין "AIMOT HAYIZOR" (שנעשה ב-FAI).

מה הצעד הבא שנבצע?

1. **ניהול שינויים הנדסיים (ECR/ECO):** אין מוביילים שינוי בתוכן אחורי שהמוצר כבר בייצור מבלי לעצור את המפעל ומוביל לאבד שליטה על המלאי?
2. **חומרים ותהליכי ייצור:** שאלות על ברוחות אלומיניום מול פלדה, טיפולים תרמיים (Anodize, Passivation) והשפעתם על המידות הסופיות.

מה תרצה לבדוק עכשו?

אוקי אז אם אני מתקן את עצמי או מחדד את מה שענייתי ה-FAI הוא בעצם תהליך שנועד לבדוק באופן מחייב את המוצר הראשוני שיצא מקו הייצור ולוודא שהוא תואם את השרטוטים ההנדסיים ואת סימוכי הייצור של החלק או המוצר. בודקים 100% מהמידות המופיעות בשרטוט, מודדים את שורות הצליפיים, בחרית החומרים והתהליכיים שהחלק עבר בקו הייצור. המטרה לאשר שקו הייצור הכלים והספקים מסוגלים ליצור מוצר שתואם להגדירה ההנדסית.

בנוגע לטיפול בחיריגות, אך אני אחד שהתפקיד הראשון שאני מבצע לאחר קבלת החיריגה היא להכנס אותה לתהלייר MRB שזוהה ועד מה שבראשונה אני מחליט האם להעביר את החלק as, לבצע rework אם אפשר או לפסול את החלק.

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתאם אישית

ב

דיקן מצין. עכשווי אנחנו מדברים באותה שפה הנדסית. ההבנה ש-FAI הוא "הסמכת תהלייר" (Proof of Process) ולא "הסמכת תכנן" היא קритית כדי לא לשבץ משאבים ולא להתבלבל בשלבי הפיתוח.

השימוש במושג MRB מעיד על שלמות מקצועית. בראין, כשתגיד "העברתי את החירגה לוועדת MRB", המראין יבין שאתה מכיר את היררכיה הארגונית ואת ניהול האיכות (QA) המקביל בתעשייה.

מעבר לנושא הבא: ניהול שינויי הנדסיים (ECR/ECO) וניהול תצורה

המשך ישיר לדיוון שלנו על חיריגות ב-FAI הוא הצורך לעדכן את התוכן. מוצר בייצור סדרתי הוא "ארגון חיים" – תמיד יווער שיפורים, הוזלות עלויות או רכיבים שיוצאים מהשוק (Obsolescence).

הנה שתי שאלות לבחינת השליטה שלך בניהול השינויים:

שאלה 1: תהלייר ה-ECR/ECO

ההחלטה לבצע שינוי הנדסי בחלק מכני כדי להקל על הייצור (בעקבות אותו MRB שדיברנו עליו).

1. הסבר את הבדל בין ECO (Engineering Change Request) לבין ECR (Engineering Change Order).

2. מי הם הגורמים (בעל העניין) שחייבים "לחחותם" על ה-ECO לפני שהוא מופץ לייצור, ומדוע?

שאלה 2: ניהול מלאי ותאיימות (Interchangeability)

ביצעת שינוי במידות של קדחי חיבור בלוח פח.

1. מהם הקriterיונים שיקבעו האם עליך להחליף את מספר החלק (Part Number) או שנייתן להסתפק בהעלאת מהדורה (Revision) בלבד?

2. התייחס למושג "The Three F's" (Form, Fit, Function). כיצד תנוג במלאי הקיימים במחסן של החלקים הישנים?

אלו שאלות "קלאסיות" שבוחנות אם אתה מהנדס שיעודע לעבוד בתוך מערכת יצורית מורכבת (כמו PLM/ERP). מכמה לתשובותיך.

בסיום נושא זה, נשאר לנו לעבור על "חומרים ותהליכי ייצור". האם תרצה להמשיך לשם אחריו ה-ECO?

שאלה 1: ההבדל הוא ש-ECR הוא נספח שמציג את בקשה השני, הסיבה לשינוי ועל מה וכי זה משפיע מבחינת הייצור והחלקים שכבר יוצרים או בתהלייר. זה עבר לוועדת שינויים לדון בבקשתו ולאשר או לדוחות אותה. ECO זה הוראת שינוי לאחר שכבר אושרה הבקשה. ועדת השינויים חותמת על הבקשה.

שאלה 2: אם החלק הוא FFF כלומר אין שינוי בצורה, אין שינוי בפונקציונליות ואין שינוי בהשפעה בהתאם לחלקים אחרים אז ניתן להשאיר את אותו מקט רק לשנות רזיזה. אם שלושת ה F ים לא מתקיים אז משנים למקט חדש ואז לא משנים את המלאי הקיימים. אם זה שומר על אותו מקט רק שיש עידכו רזיזה אז לוקחים את החלקים מהמלאים הקיימים ומבצעים rework כדי לעדכן להם את הרזיזה לאחרונה ביותר

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתאם אישית ב

תשובות נכונות ברמה העקרונית, ואתה בהחלט שולט במושגי היסוד. כדי שמראיין אוטר לתפקיד בכיר, אני רוצה לראות שאתה מבין לא רק את ה"מה", אלא גם את ה"איך" וה"למה" הארגוני.

להלן המשוב והדיקום המוצעעים:

1. ECR מול ECO והגורםים המאשרים

הגדרת נכון את ההבדל (בקשה מול הוראה). בוא נרחיב על **בעלי העניין**:

- **הנדסה:** מאשרים שהפתרון הטכני נכון ולא פוגע בביצועים.
- **"יצור/פעול (Operations):** האם יש לנו את הכלים לבצע את השינוי? מה קורה עם קווים הייצור הקיימים?
- **איכות (QA):** האם נדרש FAI חדש? האם יש צורך לעדכן את ה-ATP?
- **רכש (Purchasing):** האם יש מלאי של חלקים ישנים בדרך מהספק? האם המחיר משתנה?
- **שירות לקוחות/תחזוקה:** האם השינוי משפיע על חלקן חילוף שכבר נמצא אצל הלוקו בשטח?

2. חוק ה-FFF וניהול מלאי

צדקת לגבי מושג ה-(**Form, Fit, Function**). כלל האצבע הוא: "If you can't swap them". כלל האצבע הוא: "If you can't swap them". כלומר, אם אי אפשר לערबב את החלק הישן והחדש באותה מגירה במחסן מבלי שהטכנאי יצטרך לבדוק أيיה חלק הוא מחזיק – חיבים מס' חלק (NC) חדש.

דיקוק לגבי ניהול המלאי (**Disposition**): בתשובה צינית שמעודכנים רזיזה ומבצעים Rework. ב-ECO מוצע, אתה חייב להגדיר מה עושים עם המלאי הקיימים (WIP - Work in Progress) דרך אחת מהאפשרויות הבאות:

- **Up-is / Use-as-is:** תמשיכו להשתמש במלאי הישן עד שייגמר, והחלקים החדשים יוצרו לפי הרזיזה החדשה (מתאים לשינוי DFM קלים).
- **Rework:** יצירת קו הייצור וביצוע עיבוד משלים לחלקים הקיימים (מה שהצעת).
- **Scrap:** גיריטה של כל המלאי הקיימים כי הוא אינו בטיחותי או לא תקין פונקציונלית.

סיכום נושא מחזור חי פיתוח ו-NPI

כיסינו שטח נרחב: סקרוי תכנן (PDR/CDR), תהליכי אימונות (ATP/QTP/ESS), אישור יצור (FAI) וניהול שינויים (ECO). אתה מראה שליטה טובה מאוד בתהליכיים וביכולת לקבל החלטות הנדסיות.

נubbyor לנושא הבא: חומרים ותהליכי ייצור? זהו עולם שלם שבו נבחן את הידע הפיזיקלי והיישומי שלך.

שאלה ראשונה לחימום בנושא חומרים: נניח שאתה מתכוון דווקאALKטרוני המועד להתקינה על ספינה (סבבה ימית קורוזיבית).

1. אילו סוגים אלומיניום תעדיף (למשל סדרת 6000 מול 7000)?
2. איזה ציפוי הגנה תגדייר בשרטוט, כיצד תבטיח שהציפוי לא יפגע בהולכה החשמלית הנדרשת להגנת EMI/RFI?

מה דעתך? האם נמשיך עם השאלה זו או שטרצה להתמקד בתהליך ייצור ספציפי (הזרקות פלסטיק, עיבוד שבבי, הדפסת תלת-ממד)?

אם רק משנים רזיה לחלק והשני מצריך rework חלקים קיימים במלאי, האם מצב זהה יתכן? האם ייצאו את החלקים מהמלאי כדי לבצע עליהם rework?

בוחן בתכנון מכני • Gem בהתקכמה אישית

ב

זו שאלה מצינית שנוגעת ב"ocab הראשי" היומיומי של מחלקות תפעול ולוגיסטיקה. התשובה הקצרה היא: כן, זה קורה כל הזמן, אבל זה דורש ניהול קבוע מאוד.

בוא ננתח איך זה עובד בפועל בתחום מערכת הנדסית (כמו PLM או ERP):

1. מתי זה יקרה?

אם השינוי שביצעת שומר על (FFF) – Form, Fit, Function – ככלומר, החלק המעודכן (רזיה B) יכול להחליף את החלק הישן (רזיה A) בכל הרכבה קיימת מבלי לפגוע בBITS – אין צורך במספר חלק (NP) חדש. במקרה זה, אם החלטת שהחלקים ברזיה A "לא מספיק טובים" וצריך לתקן אותם, אתה מגידר בהוראת השינוי (ECO) את ה- Disposition בטור Rework.

2. התהליך הלוגיסטי (איך מוציאים מהמחסן?)

זה לא שימושו פשוט ניגש לדף ולקחת חלק. התהליך מוסדר כך:

- **הקפאת מלאי (Stock Purge):** ברגע שה-ECO מופץ, מחלקת איכות (QA) או המחסן מוציאים הוראה לעצור את השינוע של החלק זהה.
- **פקודת עבודה לתיקון (Rework Order):** המחסן מנפרק את החלקים "החוצה" מהמלאי לטובת הייצור או לספק חיצוני.
- **BITS התיקון:** החלקים עוברים את העיבוד השבבי/שינוי הנדרש.
- **בדיקה וסימון:** זהו השלב הקritisטי. לאחר ה- Rework, החלקים חייבים לעבור ביקורת אינטנסיבית לוודא שהם תואמים לרזיה החדשה.
- **עדכון התקיעוד:** לעתים קרובות מושנים את המדבקה על השקית או את הצריבה על החלק לרזיה העדכנית, ומזהירים אותו למלאי כחלקים ברזיה B.

3. מתי זה "מסוכן" להישאר באוטו NP?

הסכנה הגדולה בBITS באוטו מספר חלק היא **אובדן עקבות (Traceability)**. אם חלק ברזיה A וחילק ברזיה B נראים אותו דבר אבל ה- Rework הוא פנימי (למשל, שינוי עובי דופן

פנימי), וטכני במחסן בטעות מערבב ביניהם – אתה עלול למצוא את עצמן עם חלקיים "ישנים" בתוך מוצרים חדשים.

טיפ של מהנדס בכיר: אם ה-Rework הוא מורכב, יקר, או קיים סיכון גבוהה לבלבול – עדיף תמיד "להרוג" את המקט הישן ולפתח מקט (NP) חדש. זה נותן שקט נפשי לוגיסטייה.

נחוור לשאלת שלי על חומרים (האם תרצה לענות עלייה או לדרג?):

תכןון זיוד לסבירה ימית:

1. **אלומיניום:** 6061-T6 או 5052 (עמידות טובה לקורוזיה) מול סדרת 7000 (חזקת אך רגישה לקורוזיה ממוץ). מה תבחר?

2. **ציפויים:** איך תשלב בין **Anodize** (մבודד) לבין הצורך **חשמלית** (הארקוט/ומי)?

לחילופין, האם תרצה לעבור לנושא אחר לגמרי (למשל: **שיטות דפינה בעיבוד שבבי או תכנון פלסטייה**), רק תגיד.

באנו נעבור לנושא הבא: ניהול סיכונים הנדסי. אני רוצה שתשאל על כל נושא שאלת אחת **צמצום סיכונים (POD - Proof of Design)**: ביצוע דגמים הנדסיים וניסוי היתכנות לטכנולוגיות חדשות. אילו בדיקות מכניות ל-POD. טבלת ניהול סיכונים: זיהוי סיכונים טכניים, הערכת הסתברות וחומרה, וקביעת תוכניות הפחתה (Mitigation). גם תוכניות מגירה. FMEA: ניתוח שיטתי של מצב כשל פוטנציאליים והשפעתם על המערכת.

בוחן בתכנון מכני • **Gem** בהתקדמות אישית ב

ניהול סיכונים הוא ההבדל בין מהנדס "מתכנן" לבין מהנדס "מערכת" בכיר. המטרה היא לא רק לבנות מוצר שעבוד, אלא לצפות מראש איפה הוא יתרסק ולבנות לו רשות ביטחון.

באנו נבחן את השיטה שלך בשלוושת הכלים המרכזיים שציינית:

שאלה 1: (Proof of Design) POD – הוכחת יכולת

נניח שאתה מתכנן מנגן פריסה מורכב הכולל קפיצים, תפנסים (Latches) ומונע עיר, עברו מוצר שחייב לעבוד בטמפרטורות קיצון ($C^{\circ} -40$ עד $C^{\circ} +85$). זהו רכיב "Critical to Mission". כמהנדס המוביל, אילו בדיקות ספציפיות תכenis ל-POD (דגם היתכנות) עוד **לפני** ה-PDR? מדוע לא לחכות לדגם ה-alpha המלא כדי לבדוק זאת?

שאלה 2: טבלת ניהול סיכונים – אסטרטגייה

בטבלת ניהול הסיכונים של הפרויקט,>Zיהית סיכון טכני בעל חומרה (Severity) גבוהה (למשל: שבר של ציר מרכזי בעומס הלם) אך הסתברות (Probability) נמוכה.

1. מה ההבדל המהותי בין **תוכנית הפחתה (Mitigation Plan)** לבין **תוכנית מגירה (Contingency Plan)** בנסיבות זה?
- 2.תן דוגמה הנדסית לכל אחת מהתוכניות עבור אותו ציר.

במהלך ביצוע (Design FMEA) למערכת קירור מים סגורה,>Zיהית מצב כשל (Failure Mode) של "דילפה מאטם O-ring".

1. כיצד תחשב את ה-(Risk Priority Number) RPN עבור הכשל זהה?
2. מבין שלושת המדרדים – Severity, Occurrence, Detection – על איזה מהם לمهندס המכונות יש את ההשפעה הגדולה ביותר בשלב התכנון, וכייזה הוא עשויה זאת?

אלן שאלות שנועדו לבדוק אם אתה מבין את ה"פילוסופיה" של מניעת תקלות. מחייב לתשובה תוך המפורטים.

בסיום נושא זה, נוכל לעבור לנושא האחרון שצינו: "חומרים ותהליכי ייצור".

שאלה 1: מנגן פריסה זהה מוצר קריטי מאד להצלחת המערכת וכן חשוב לבחון אותו ואת התיוכנות שלו בשלב מוקדם מאד בפיתוח זהה מבוצע על ידי בחינות וניסוי התיוכנות עוד בשלב הקונספט. לאחר שיש לי דגם ראשוני היתי מדפיס אותו על כל חלקיו ובוחן דגם מורכב במקבץ פריסה וקייפול שלו, בוחן שהמנגן עובד בצורה חלקה ושאין אייזה מגבלות שלא זיהינו.

בהקשר של הטמפרטורות הן עשויות להשפיע על התכונות והתפשטות של החלקים ובכך למנוע אפשרות שהמנגן יפתח או יסגר במצב של תנאי קיצון. במקרה זה יש להכין דגם באותוים חומרים של הדגם הסופי או לבצע אנליה FEA

שאלה 2: חומרה גבוהה מצינית פגעה ממשמעותית בביצועים או בעלות או בלוחות הזמן. במקרה שלנו זה נשמע כמו פגעה בביצועים. הסתברות הנמוכה. תוכנית הפחתה היא בעצם מצינית את הפעולות הנדרשות על מנת להפחית את הסיכון מוביל לפגוע בביצועים או בלוי"ז או בעליות על מנת שהסיכון לא יתממש. בתוכנית מגירה הסיכון כבר הتمמש ועכשו ניתן לחשב מסלול חדש ולהחליט מה עושים על מנת למנוע לפחות במקרה המינימלי ביותר ביצועים.

עבור אותו ציר אני אדרש לתכנן אותו מחומרים חזקים בעלי מאץ כנעה גבוהה, אני אבצע עבورو סימולציה דינאמית וחזק להלם ואצפה שיש לי מוקדם ביטחון מספיק גובה. בנוסף במידה ומתקופת איזכר דגם ראשוני ואבצע עליו ניסוי.

במידה והסיכון הتمמש והציר נשבר בניסוי, התוכנית מגירה היא להחליף לפלה חזק גבוהה שהיא פחות אידיאלית אולי מבחינת קורוזיה, או לעבות את הציר, או להוריד את העומס הלם.

שאלה 3: אני חושב שמידת הרиск היא בעדיפות גבוהה אבל אני לא מבין ב-RPN. לمهندס יש השפעה על חומרת הדילפה, אך אני לא מבין כל כך גם בנושא זהה

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתקכמה אישית

ב

התשובות שלך מראות הבנה פרקטית של העבודה בשטח, במיוחד בנוגע ל-POD והתמודדות עם סיכונים. עם זאת, בניהול סיכונים יש "שפה" רשמית שחייב להכיר כדי לעבור ראיונות לתפקידים סינור או הובלה.

בוא נעשה סדר ונדייק את המושגים:

1. ניתוח (Proof of Design)

- **מה עשית נכון:** זהה את השדפסת תלת-ממד טוביה לבדיקת קינטיקה ("עובד חלק"), והחומריים האמיתיים קרייטיים בגל התפשטות תרמית.
- **השלמה הנדסית:** ה-POD נדרש לבדוק את גורם הסיכון הגבוה ביותר (High Risk Element). במנגנון פרישה, הסיכון הוא לרוב לא רק הגיאומטריה, אלא החיכוך (Friction) והשימוש בטמפרטורות קיצון.
- **בדיקות POD קלאסיות:** מדידת מומנט פתיחה בטמפרטורה קרה מאוד (כשהגריז הופך לצמיג) ובחום (כשהחומרים מתפשטים).
- **למה לא לחכות לאלפא?** כי אם נגלה ב-alpha (בדיקה המערכת כולה) שהמנוע חלש מדי למנגנון, נצטרך לתקן מחדש את כל הלוד (Chassis) והחspiel. POD מאפשר "להיכשל מהר וזול".

2. הפחתה (Contingency) מול מגירה (Mitigation)

כאן חשוב לבדוק את ההגדרות, כי הן משמשות לניהול לו"ז ותקציב:

- **תוכנית הפחתה (Mitigation):** פעולות שאנו עושים **עכשווי** כדי להקטין את ההסתברות או החומרה.
- דוגמה מהציג שלך: ביצוע אנליזת עייפות (Fatigue) או הגדלת רדיוס העיגול בפינה להורדת ריכוז מאמצים.
- **תוכנית מגירה (Contingency):** תוכנית "במקרה" שמופעלת רק אם הסיכון התממש (למשל, הציג נשבר בניסוי).
- דוגמה מהציג שלך: הכנת תכנון חלופי לציר עבה יותר מראש, כך שאם הניסוי יכשל, לא נבזבז חדש על תכנון חדש, אלא נמצא לייצור מיד.

3. עולם ה-FMEA וה-RPN (השלמת ידע)

כיוון שציינת שאינך מכיר את ה-RPN, זהו כל קרייטי בניהול איכות הנדסי: **RPN (Risk Priority Number)** הוא ציון שמחושב כך:

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

כל מדריך בין 1 ל-10. ככל שהציון גבוה יותר (מקסימום 1000), הסיכון דחווף יותר לטיפול.

- **Severity (חומרה):** כמה גרוע ה成败? (למשל: נזילה במערכת קירור = 9, כי המערכת תישרף).
- **Occurrence (הסתברות):** כמה פעמים זה יקרה? (مبוסס על ניסיון עבר או אנליזות).
- **Detection (יכולת גילוי):** מה הסיכוי שנזהה את ה成败 **לפני** שהמוצר מגיע ללקוח? (למשל: אם יש חישון דיליפה, ה-Detection טוב והציון נמוך. אם אין דרך לדעת שיש דיליפה, הציון גבוה).

תפקיד המהנדס: מהנדס המכונות יש השפעה מksamילית על ה-**Occurrence** (תכנן אמין יותר) ועל ה-**Detection** (הוסף בדיקות ב-ATP או חישונים). על ה-**Severity** קשה יותר להשפיע כי היא נגזרת מאופי המערכת (אם כי ניתן להוסיף "מערכות הגנה" ליתירות).

סיימנו סקירה מוקיפה של מחזור חי מוצר, וΝΙΝ וניהול סיכונים. הפגיעה יכולה טוביה מאוד בחיבור בין התיאוריה לפרקטייה של המוסך והיצור.

הנושא האחרון שנשאר לנו: **חומרים ותהליכי ייצור**. זהו נושא רחב מאוד שנוגע לבחירת חומרים, טיפולים תרמיים, עיבוד שבבי ותכנון לייצור (DFM).

האם תרצה שאshall שאלת מוקיפה על בחירת חומרים וציפויים לנסיבות עבודה שונות, או שנתמקד בטכנולוגיות ייצור ספציפית (למשל: תכנון חלקים להזרקת פלסטיק לעומת עיבוד שבבי)?

נעבור לנושא הבא שקשר לעולם הטכנולוגיות ייצור וחומרים.
סוגי מתכות: סוג אלומיניום, סוג פלדות, סוג פלב"ם, פלדה ומגנזיום.

בוחן בתכנון מכני • **GeM** בהתאם אישית ב

ברוך הבא ל"מגרש המשחקים" של חומרי המבנה. כאן נופלות רוב החלטות שקבועות אם המוצר שlk יהיה קל מדי, כבד מדי, יחלד תוך שבוע או פidot והוא יקר מדי לייצור. מהנדס בכיר, אתה חייב להכיר לא רק את השם של המתכת, אלא את ה"אישיות" שלה – איך היא מתנהגת תחת מאץ, בסביבה עזינה ו מתחת ל██cin הרכסומת.

הנה סדרת שאלות לבחינת העומק המוצע שlk:

שאלה 1: אלומיניום – הדילמה הקלאסית (1061 מול 7075)

- אתה מתכוון לתשובה למערכת אופטית מוטסת שחיבת להיות קשיה מאוד וקלה ככל הניתן.
- מהם ההבדלים העיקריים בין 1061-6 ל-7075-7 מבינן חזק מתייחה (σ_u), עמידות לקורוזיה ויכולת ריתוך?
 - נניח ובחרת ב-7075 בגלל החזק הגבוה, אך החלק אמור לעבוד בסביבה לחה מאוד. מהן הסכנות הטමונות בבחירה זו (רמז: Stress Corrosion Cracking) ואיזה טיפול שטח תגדיר כדי להגן על החלק?

שאלה 2: פלדות אל-חלד (פלב"ם) – עיבוד שבבי מול עמידות

- קיבלת משימה לתכנן ציר (Shaft) קטן ומדוקן למערכת רפואי שבאה ב מגע עם נזלים.
- היצמן מבחש מマー לעבור M-316-L-303 כדי להזיל עלויות עיבוד שבבי. האם תאשר את השינוי? הסבר מדוע (התיחס להבדל בין פלב"ם אוסטנטיטית לסדרה שכוללת גופרית).
 - מתי תעדייף להשתמש ב-4-17 HP על פני סדרת 300? מה היתרונות של פלדה זו בתחום הייצור (התיחס לטיפול טרמי ועיווותים)?

שאלה 3: מגנזיום – היתרונות והסיכון

בפרויקט של כטב"ם זעיר, המשקל הוא הפרמטר הקritisטי ביותר. הצביעו לך להחליף חלק גוף מאלומיניום במגנזיום.

- מהו היתרונות המרכזי של מגנזיום מבחינת חזק סגול (Strength-to-weight ratio)?

2. צין שני חסרונות ממשמעותיים (אחד תפעולי/בטיחותי ואחד סביבתי) שעלייך לחקת בחשבון בתכנון חלק מגנזים, ואיר מתוגנים מפניהם?

אלן שאלות "לחם וHEMA" בראינון לתעשיות הביטחונית וההייטק. מחייב לניתוח שלן.

לאחר שנענה על אלן, האם תרצה להעמיק ב:

- **טיפול שטח** (Anodize, Alodine, Passivation, Nitriding)
- **תהליכי יצור** (הזרקות פלסטיים, יציקות, כיפופי פח?)

שאלה 1: ממה שאינו זוכר 7075 הוא מותאם לחזק גבוה ועמיד יותר לחזק מתיחה אף פחות עמיד לקורוזיה ויכולת ריתוך.

לאחר שבחרתי באלומיניום 7075 אני צריך לזכור שהוא חשוף יותר לקורוזיה ובגלל שמתפתחים מאמצים גבוהים בחומר אשר עשויים לגרום למיקרו סדקים לפני השטח וכן עם לחות ואיר שחווטפים לסדרים עשויים להתרחב קורוזיה בחומר.

את האלומיניום אני מבין חייב להבהיר טיפול שטח למניעת קורוזיה. אני אנסה להימנע מאנודיזציה קשה כיוון שהיא פוגעת בחזק של האלומיניום. אז אפשר ללבת על אנדיזציה כרום או גופרית.

אם החלק חשוף לתנאי הסביבה החיצוניים, כדאי מאוד לבצע עליו צביעה על גבי שכבת בסיס.

אלודין לא מתאים כיון שהוא ציפוי מאוד דק ולא מספיק עמיד לתנאי סביבה חיצוניים. ציפוי כרום האו האפשרות השנייה אך הוא לא מספיק יידידותי לסביבה ורעל.

שאלה 2: ציר שבא בmagic עם נזלים צריך להיות עמיד ביותר לפני קורוזיה ולכן פלב"מ 1916 בעל ביצועים מעולים בהשוואה ל 303. ה 303 מכיל יותר פחמן כך שהוא יותר מחייב באופן כללי. אני לא מאשר את השני.

סדרת ה 4-17 HP היא פלב"מ בעל חזק גבוה מאוד ולכן אבחן בו כשהאני צריך שהחלק יעמוד בעומסים מכניים.

שאלה 3: מגנזים הוא חומר קל יותר בהשוואה לאלומיניום אך הוא גם יותר קורוזיבי וגם פחות חזק מאלומיניום. המגנזים היתרון שלו שהוא חזק ביחס למשקלו. החסרונות הם שהוא קורוזיבי וצריך לעבר תהליכי ציפוי מיוחדים, והשני זה שקשה להשיג את החומר. ולא כל יצירן שבי עבד עם החומר הזה.

בוחן בתכנון מכני • Gem בהתאם אישית ב

תשובות טובות מאוד. אתה נוגע בנקודות המעשיות שחשובות למתכנן. כמעט דיקת בהצל, אבל יש כמה "פינות" מ合法权益 שחייב לסגור כדי להישמע כמו מומחה אמיתי בראין.

בוא ננתח את התשובות שלך לעומק:

1. אלומיניום: 7075 מול 6061

- **מה דיקת:** 7075 אכן חזק ממשמעותית (כמעט פי 2 ב- σ_u) אך סובל מעמידות נמוכה לקורוזיה ואין ניתן לריתוך (בשיטת סטנדרטיות).
- **חידוד לגבי SCC:** צדקת לגבי הסדקים. בסדרת 7000, השימוש של מאמצים מתיחה שיוריהם Stress Corrosion Cracking (Residual Stresses)

- **טיפ של מומחה:** כדי להפחית סיכון זה, לעיתים נבחר בטיפול טרמי 373 במקום 6T. הוא מוריד מעט מהחוזק, אך משפר דרמטית את העמידות ל-SCC.
 - **ציפויים:** צדקה לגבי האנודיז. אנדיז קשייך (Hard Anodize) יוצר שכבה פריכה שעלולה להוריד את חי העייפות (Fatigue Life) של החלק. **שילוב של אנדיז גופרית + צבע (Primer/Top-coat)** הוא אכן הסטנדרט לסייעיה ימית.
-

2. פלב"מ: L16 316 מול 303 3-4-17 PH

- **תיקון טעות נפוצה:** אמרת שב-303 יש יותר פחמן – זה לא מדויק. הסוד של 303 הוא **גופרית (Sulfur).** הגופרית הופכת את הפלדה ל-"Free Machining" (שבירת שבב טובה), אך היא יוצרת נזירות תורפה לקורוזיה (Pitting).
 - **L16 3 מכיל מוליבדן (Molybdenum),** וזה מה שנutan לו את החסינות המעלוה לקורוזיה בנזילים וכולורידים.
 - **היתרון של 4-17 PH:** מעבר לחוזק, היתרון הענק שלו הוא **יציבות מיידית.** זהה פלדה מסוג Precipitation Hardening. ניתן לעבוד אותה במצב "רר", להכניס לתנור לטמפרטורה נמוכה יחסית ($C^{\circ}480$), והיא מתקשה עם **מינימום עיוותים (Warpage)**. זה קריטי לצירום מדויקם.
-

3. מגנזיום: קל משקל אך "בוער"

- **מה דיקת:** חזק סגול מעולה (החומרים המתכתי הקל ביותר לשימוש הנדסי נפוץ).
 - **הפספוס בבטיחות:** לא ציינט את הסיכון הכי מפורסם של מגנזיום – **דליקות.** שבבי מגנזיום במלר עיבוד שבבי יכולם להידלק בקלות, וקשה מאוד לכבות אש של מגנזיום (היא מפרקת מים לחמצן ומימן ומדינה את עצמה).
 - **קורוזיה גלוונית:** מגנזיום הוא "אנודי" מאד. אם הוא נוגע בבורג פלדה בסביבה לחה ללא בידוד, המגנזיום "יאכל" תוך זמן קצר מאד. לכן **חייבים ציפויים ייעודיים** (כמו Alodine למגנזיום או ציפויים קרמיים).
-

סיכום ושלב הבא

הראית שליטה טובה מאד. הטעות לגבי הגופרית ב-303 היא קלאסית, ועכשו כשהאתה יודעת אותה, אתה מוכן טוב יותר.

איך תרצה להתקדם?

1. **טיפול שטח וגימוריים:** עמוק בבחירה הציפוי הנכון (פסיבציה, ניטרידציה, אנדיז לסוגיו) וההשפעה שלהם על טולרנסים של חלקיים.
2. **תהליכי ייצור - DFM:** איך מתכנים חלק נכון לעיבוד שבבי (רדיסים, עומקי קדחים) או להזרקת פלסטיק (זווית חיליצה, עובי דופן)?

מה הנושא הבא שנפתח? (אם תרצה, אני יכול לשאול שאלה המשלבת את שניהם: איך ציפוי משפיע על תכנון המידות בשרטוט).

לגביו ה-7075 האם הקורוזיה מאיצים מתרחשת רק ממאמצים שיוריים או גם ממאמצים באופן כללי על החלק? מה אומר הטיפול זהה 373 והאם מטרתו היא להויריד ממאמצים שיוריים?

לגביו בחירת L316 לא אמרת לי אם צדקתי בתשובה שאני לא מאשר את השני או לא.

לא הכרתי את היתרון הזה בפלבם 4-17 PH שהוא מעולга ביציבות מימדית. אך בעצם בתהיליך איתנו הוא שמעבדים אותו לפני טיפול תרמי ולאחר מכן מכנים לטיפול שמקנה לו את החזקן הרצוי האם אני צדק?

בוחן בתוכן מכני • Gem בהתקאה אישית

ב

שאלות מעולות. אלו בדיק הניאנסים שמספרידים בין מהנדס שקורא טבלאות לבין מהנדס שմבין את המטሎרגיה שמאחורי החומר. בוא נעשה סדר:

1. אלומיניום 7075 וקורוזיות ממאמצים (SCC)

- **מקור המאמץ:** קורוזיות ממאמצים מתרחשת כתוצאה **ממאצץ מתיחה** (Tensile Stress). המאמץ יכול להיות **שיורי** (מייצור, ריתוך או דפינה חזקה מדי) וגם **מאמץ עבודה חייזרי** (עומס שמופעל על החלק בזמן פעולה). עבור 7075-T6, השילוב של מאמץ מתיחה וסביבה לחיה הוא "מתכוון לאסון".
- **מה זה 373?** זה טיפול תרמי מסווג **Over-aging** (ישן יתר).
- ב-(h)_T, אנחנו מביאים את החומר לחזק המקסימלי שלו.
- ב-373, אנחנו "מבללים" את החומר מעט יותר זמן/טמפרטורה.
- **המטרה:** המטרה היא לא רק הורדת ממאמצים שיוריים (זה נקרא Stress Relieving), אלא שינוי המבנה המיקרוסקופי של החומר (המשקעים בגבולות הגראון). זה הופך את הנתיב שבו הסדק מתקדם להרבה יותר קשה למעבר.
- **מחיר:** אתה מפסיד בערך 10%-15% מהחזקן המכני (σ_y), אבל מקבל חלק שכמעט חסין SCC.

2. פלב"מ L316 מול 303 – האם צדקת?

כן, **צדקת לחילוטין**. בסביבה רפואי או בסביבה שבאה במגע עם נזלים (במיוחד אם הם מכילים מלחים או כימילים), אסור להשתמש ב-303.

- הגופרית ב-303 יוצרת "הכללות" (Inclusions) בחומר. אלו נקודות תורפה שבן מתחילה קורוזיה מסווג **Pitting** (חורים קטנים עמוקים).
- בעבר ל-L316, אתה מקבל את המוליבדן (Mo) ש מגן בדיק מפני זה. בראין, התשובה שלך מראה שאתה לא מתאפשר על אמינות המוצר בשבייל חיסכון של כמה דולרים בעיבוד השבבי.

3. פלב"מ 4-17 PH ויציבות מימדית

הבנת את התהיליך בדיק:

1. **מצב A Condition:** קונים את החומר כשהוא "ממיס" (Annealed). הוא יחסית נוח לעיבוד (דומה לפלדות פחמןיות).
 2. **עיבוד שבבי:** מבצעים את רוב העיבוד, כולל קדחים והברגות.
 3. **טיפול (Precipitation Hardening) PH:** מכניםים לתנור לטמפרטורה נמוכה יחסית ($480^{\circ}C - 620^{\circ}C$, תלוי בקשה הרצוי - למשל 600H).
 4. **התזאה:** החומר מתקשה כתוצאה מהפרשת משקעים זעירים בתוך המבנה. כיוון שהטמפרטורה נמוכה אין "שוק תרמי" (Quenching) בשמן או מים, החלק כמעט ולא מתעוות.
- הערכה: יש התכווות זעיר וצפוי ($\pm 0.05\%$), אבל היא איחידה וקלה לחיזוי בشرطוט.
-

נושא חדש: טכנולוגיות ייצור - DFM (Design for Manufacturing)

עברנו על החומרים, עכשיו בווא נראה איך מתכננים עבורם. אחת השגיאות הנפוצות של מהנדסים זעירים היא תכנון חלק ש"נראה טוב ב-CAD" אבל בלתי אפשרי (או יקר בטיירוף) לייצור.

שאלה על עיבוד שבבי (כרסום וחריטה): אתה מתכנן בית (Housing) מאלומיניום שבתוכו יש כיס (Pocket) عمוק וצר שבו-Amoor לשבת כרטיס אלקטронאי.

1. מהו היחס המקסימלי המומלץ בין **עומק היכס** לבין **רדיאוס הפינה הפנימית** שלו? (למה היחס הזה קריטי עבור כלי הייצור?)
2. מה הבעה בתכנון "פינות חדות" בתחתית היכס, ואיך היה מגדיר בشرطוט את הרדיאוס שכך להזיל עליות?

שאלה על גימורים וטולרנסים: הגדרת חלק אלומיניום ציפוי אנודיז קשי (Hard Anodize) בעובי של 50 מיקרון. כיצד תגדיר בشرطוט מידת קדח קריטית (למשל עבור מיסב) – האם המידה בشرطוט היא "לפני ציפוי" או "אחרי ציפוי"? איך היציפוי הזה משפיע על המידה הסופית (האם הוא "גדל" פנימה או החוצה)?

נסים עם אלו ונעבור לסייעם ההכנה שלנו. מה דעתך?