



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ποιοτικός Έλεγχος και Αποδοχή Πρωτότυπου Απαρτίου στην
Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (First Article Inspection)»**

ΣΟΦΙΑ ΤΣΑΛΚΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΚΕΝΔΕΡΙΔΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ

ΠΑΤΡΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας «Τσάλκου Σοφίας» που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής της διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών της δικαιωμάτων.



«Ποιοτικός Έλεγχος και Αποδοχή Πρωτότυπου Απαρτίου στην
Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (First Article Inspection)»

«Σοφία Τσάλκου»

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σκενδερίδης Πρόδρομος

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
Κούτρας Βασίλειος

Καθηγητής Σύμβουλος – Ελληνικό
Ανοιχτό Πανεπιστήμιο

Καθηγητής Σύμβουλος – Ελληνικό
Ανοιχτό Πανεπιστήμιο

ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους επιβλέποντες καθηγητές μου και στους εξής:

Πούλιο Παναγιώτη, Προϊστάμενο του τμήματος Ποιοτικού & Διαστατικού Ελέγχου E.A.B.

Ρέπα Σπύρο, επιθεωρητή ποιότητας E.A.B.

Αμιράλη Μενέλαο του τμήματος Planning E.A.B.

Αμπατζή Γιάννη, επιθεωρητή ποιότητας E.A.B.

Λύγκο Σωτήρη, P-3 Quality Assurance Site Lead της Lockheed Martin

και σε όλους τους συναδέλφους στην E.A.B. που ήταν πρόθυμοι να απαντήσουν στις ερωτήσεις μου.

Το παρόν σύγγραμμα αφιερώνεται στον Γιάννη Κρητικίδη και στον πατέρα μου.

Περίληψη

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία επικεντρώνεται στον ποιοτικό έλεγχο και την αποδοχή πρωτότυπου απαρτίου (First Article Inspection) στην Αεροπορική Βιομηχανία. Στόχος της μελέτης είναι η ανάλυση της διαδικασίας FAI, με έμφαση στην εφαρμογή της στο πλαίσιο της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας.

Η μεθοδολογία ανάλυσης περιλαμβάνει την συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με τις υφιστάμενες πρακτικές FAI, την εξέταση των διαδικασιών και προτύπων/κανονισμών και την πρόταση βελτιώσεων βασιζόμενων σε βέλτιστες πρακτικές και καινοτομίες. Περιγράφεται η διαδικασία μέσα από τέσσερα βασικά στάδια: τον σχεδιασμό, την παραγωγή, τον ποιοτικό έλεγχο και την αποδοχή του πρωτοτύπου. Καθένα από αυτά τα στάδια περιλαμβάνει μία σειρά από αυστηρές διαδικασίες και ελέγχους που διασφαλίζουν ότι το τελικό προϊόν ανταποκρίνεται στις υψηλότερες απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας.

Σκοπός της ΜΔΕ είναι να εξετάσει, να αναλύσει και να αξιολογήσει τις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου και αποδοχής πρωτότυπου απαρτίου στην Ε.Α.Β. Προσπαθεί να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας των διαδικασιών αυτών, να αναδείξει πιθανά προβλήματα και να προτείνει βελτιώσεις για την αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη εφαρμογή τους.

Παρουσιάζεται επίσης μία μελέτη περίπτωσης βήμα προς βήμα σχετικά με ένα δομικό εξάρτημα - απάρτιο του C-130J, του οποίου αποτελεί αποκλειστικός υποκατασκευαστής η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία. Πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο, ότι λόγω διαβάθμισης του προγράμματος, το υπό μελέτη εξάρτημα δεν θα αναγράφεται με το όνομά του, αλλά ως «απάρτιο» ή «εξάρτημα». Για τον ίδιο λόγο, στοιχεία, κωδικοί, τιμές έχουν αφαιρεθεί ή παραληφθεί από πίνακες και έγγραφα.

Η καταγραφή της όλης μεθόδου για τον ποιοτικό έλεγχο και την αποδοχή του πρωτότυπου απαρτίου, μπορεί να αποτελέσει Οδηγό για την εκτέλεση της FAI από έναν νέο επιθεωρητή, ενώ μπορεί να βοηθήσει στην ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων μερών σχετικά με την αλληλεπίδραση της διαδικασίας με τις λειτουργίες του κάθε τμήματος ξεχωριστά και πώς αυτές εναρμονίζονται με τον τελικό στόχο, την κατασκευή ασφαλών και αξιόπιστων αεροσκαφών συμμορφούμενων με τα διεθνή πρότυπα και τα κανονιστικά πλαίσια που ισχύουν στην αεροναυπηγική βιομηχανία.

Λέξεις – Κλειδιά: Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ), First Article Inspection, First Article Prototype, Ποιοτικός Έλεγχος

Abstract

The present Master's Thesis focuses on the quality control and acceptance of a prototype part (First Article Inspection - FAI) in the Aerospace Industry. The aim of the study is to analyze the FAI process, with an emphasis on its application within the context of the Hellenic Aerospace Industry.

The analysis methodology includes gathering data on existing FAI practices, examining processes and standards/regulations, and proposing improvements based on best practices and innovations. The process is described through four main stages: design, production, quality control, and prototype acceptance. Each of these stages includes a series of strict procedures and checks that ensure the final product meets the highest quality and reliability requirements.

The purpose of this thesis is to examine, analyze, and evaluate the quality control and prototype acceptance processes in the Hellenic Aerospace Industry. It aims to understand how these processes operate, highlight potential issues, and propose improvements for their more effective and efficient implementation.

A step-by-step case study is also presented regarding a structural component - part of the C-130J, for which the Hellenic Aerospace Industry is the exclusive subcontractor. It should be noted that due to the program's classification, the part under study will not be named but referred to as "part" or "component". For the same reason, details, codes, and values have been removed or omitted from tables and documents.

The documentation of the entire method for quality control and prototype acceptance can serve as a guide for performing FAI by a new inspector, while it can help inform all involved parties about the interaction of the process with the functions of each department individually and how these align with the ultimate goal of manufacturing safe and reliable aircraft that comply with international standards and regulatory frameworks in the aerospace industry.

Keywords: Hellenic Aerospace Industry, First Article Inspection, First Article Prototype, Quality Control

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	iv
Abstract.....	vi
Κατάλογος Πινάκων – Εικόνων.....	xi
Συντομογραφίες και Ακρωνύμια.....	xiii
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2. Ποιότητα στην αεροδιαστημική βιομηχανία.....	4
2.1. Το αεροπορικό Πρότυπο AS9100.....	4
2.2. Το Πρότυπο AS9102.....	7
2.3. Το Πρότυπο ISO 9001.....	8
Κεφάλαιο 3. Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία.....	11
3.1. Παρουσίαση της εταιρείας.....	11
3.1.1. Εργοστάσιο Αεροκατασκευών.....	11
3.1.2. Εργοστάσιο Συντήρησης Αεροσκαφών και Κινητήρων.....	12
3.1.3. Εργοστάσιο Ηλεκτρονικών.....	13
3.1.4. Υπηρεσία Διακρίβωσης.....	13
3.1.5. Εκπαίδευση.....	13
3.2. Ποιοτικό Σύστημα Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας.....	14
3.3. Τεκμηρίωση Ποιοτικού Συστήματος EAB.....	16
Κεφάλαιο 4. Διαδικασία παραγωγής, επιθεώρησης και αποδοχής Πρωτότυπου Απαρτίου (First Article Inspection).....	18
4.1. Τι είναι η Επιθεώρηση Πρωτότυπου Απαρτίου (First Article Inspection).....	18

4.2. Πότε χρειάζεται ένα First Article Inspection.....	19
4.3. Σχεδιασμός διαδικασίας πρωτότυπου απαρτίου.....	19
4.4. CNC (Computer Numerical Control) μηχανές.....	21
4.5. Tooling.....	23
4.6. Διακρίβωση-Βαθμονόμηση Εργαλείων και Οργάνων Μέτρησης.....	25
4.7. Έκδοση πλάνου εργασίας (Instruction Sheet).....	26
4.8. Προμήθεια και έλεγχος πρώτης ύλης και χημικών από εγκεκριμένους προμηθευτές.....	28
4.9. Παραλαβή υλικών-χημικών στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία.....	29
4.10. Επαλήθευση χημικών/υλικού/πρώτης ύλης.....	30
4.11. Πρώτη κοπή για το First Article Prototype.....	33
4.12. Υλικά Αεροκατασκευών.....	34
4.12.1. Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου.....	34
4.12.2. Τιτάνιο και κράματα τιτανίου.....	37
4.12.3. Μαγνήσιο και κράματα μαγνησίου.....	37
4.12.4. Χάλυβας (Steel) και κράματα χάλυβα.....	38
4.13. Μηχανουργικές - Ελασματοουργικές κατεργασίες του απαρτίου.....	39
4.14. Απογρέζωση – Deburring.....	42
4.15. Οπτικός έλεγχος (Visual Inspection).....	43
4.16. Διαστατικός Έλεγχος (Dimensional Inspection).....	46
4.17. Σχέδια και βοηθητικά έγγραφα για τον διαστατικό έλεγχο στην E.A.B.....	52
4.18. Hardness Test (Μέτρηση Σκληρότητας).....	54
4.19. Conductivity Test (Δοκιμή Αγωγιμότητας).....	55
4.20. Έλεγχος ειδικών διεργασιών.....	56
4.20.1. Απαιτήσεις συστήματος ελέγχου ειδικών διεργασιών.....	56

4.20.2. Έλεγχος Διαλυμάτων.....	57
4.20.3. Πιστοποιήσεις Ειδικών Διεργασιών με Χρήση Δοκιμίων.....	58
4.20.4. Cleaning (Καθαρισμοί).....	59
4.20.5. Χημικό Etching.....	60
4.20.6. Anodizing (Ανοδίσωση).....	60
4.20.7. Passivation (Παθητικοποίηση).....	61
4.20.8. Alodine (Chemfilm).....	62
4.20.9. Επικαδμίσωση (Cadmium Coating).....	62
4.21. Μη καταστροφικές δοκιμές (Non-Destructive Inspection-NDI).....	63
4.21.1. Magnetic Particle Inspection (MPI).....	63
4.21.2. Fluorescent Penetrant Inspection (FPI).....	64
4.22. Heat Treatment (Θερμική Επεξεργασία).....	64
4.22.1. Χαρακτηρισμοί θερμοκρασίας.....	66
4.22.2. T-Tempers για θερμικά επεξεργασμένα σφυρήλατα κράματα αλουμινίου.....	66
4.23. Hot Forming.....	68
4.24. Βαφή (Paint).....	69
4.25. Marking (Σήμανση).....	70
4.26. Τελικός έλεγχος (Final) απαρτίου.....	71
4.27. Ετοιμασία First Article Inspection Report.....	71
4.27.1. Ballooning.....	71
4.27.2. Συμπλήρωση Φόρμας 1 (AS9102 Form 1)-Part Number Accountability.....	72
4.27.3. Συμπλήρωση Φόρμας 2 (AS9102 Form 2)-Special Processes and Functional Testing.....	74
4.27.4. Συμπλήρωση Φόρμας 3 (AS9102 Form 3)-Verification and Compatibility Evaluation.....	75

4.27.5. Έγγραφα που περιλαμβάνονται στο FAI Report.....	76
4.28. Μη Συμμόρφωση Απαρτίου κατά την διαδικασία του First Article Inspection.....	77
4.28.1. Snag.....	77
4.28.2. Discrepancy Report (DR).....	77
Κεφάλαιο 5. Μελέτη περίπτωσης πρωτότυπου απαρτίου στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία.....	79
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	94
Βιβλιογραφία.....	96

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1. Σύστημα ονομασίας για τα σφυρήλατα κράματα αλουμινίου.....	35
Πίνακας 4.2. Σύστημα ονομασίας για τα χυτά κράματα αλουμινίου.....	35
Πίνακας 4.3. Σύστημα ονομασίας για τα κράματα χάλυβα.....	39
Πίνακας 5.1. Διαστάσεις μηχανολογικού σχεδίου.....	81
Πίνακας 5.2. Φόρμα 1, (AS9102 Form 1) - Part Number Accountability.....	90
Πίνακας 5.3. Φόρμα 2, (AS9102 Form 2) - Special Processes and Functional Testing.....	91
Πίνακας 5.4. Φόρμα 3, (AS9102 Form 3) - Verification and Compatibility Evaluation.....	92

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Σύνολο απαιτήσεων του AS9100.....	7
Εικόνα 2.2. Δομή Προτύπου 9001:2015.....	10
Εικόνα 4.1. Μοντέλο Σχεδιασμού Διαδικασίας.....	21
Εικόνα 4.2. Στάδια σχέδιο μελέτης στα οποία συμβάλλουν τα συστήματα CAD/CAM.....	22
Εικόνα 4.3. Πρίονι και Δισκοπρίονο.....	34
Εικόνα 4.4. Παραδείγματα extruded κομματιών από κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική βιομηχανία.....	37
Εικόνα 4.5. Μηχανή Jig Grinder για ρεκτιφιέ σε τρύπες.....	41
Εικόνα 4.6. Εργαλεία για απογρέζωση: Λίμες, απογρεζωτές, φρέζες, τροχός.....	43
Εικόνα 4.7. Παραδείγματα ελαττωμάτων κατά τον οπτικό έλεγχο.....	46
Εικόνα 4.8. Λογισμικό μέτρησης για CMM Μηχανές.....	48
Εικόνα 4.9. Μετρητικά όργανα: Pin gages, micrometers, Sine bar, Calipers.....	50

Εικόνα 4.10. Μετρητικά όργανα: High gage, goniometer, perthometer, roughness comparators.....	51
Εικόνα 4.11. Hardness Test.....	55
Εικόνα 4.12. Παράδειγμα Σήμανσης / Marking στο απάρτιο.....	70
Εικόνα 4.13. Παράδειγμα Ballooning.....	72
Εικόνα 5.1. Χώρες-υποκατασκευαστές για το C-130J.....	79
Εικόνα 5.2. Εργαλείο για τον έλεγχο του contour.....	82

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

AAQG – American Aerospace Quality Group

AECMA – European Association of Aerospace Industries

AQAP – Allied Quality Assurance Publications

CAD/CAM – Computer-aided design/Computer-aided manufacturing

CMM – Coordinate Measuring Machine

CNC – Computer Numerical Control

COC – Certification Of Conformance

CPL – Certified Property List

DCC – Direct Computer Control

DCN – Drawing Change Note

DR – Discrepancy Report

EASA – European Union Aviation Safety Agency

EDM – Electro-Discharge Machining

FAA – Federal Aviation Administration

FAI – First Article Inspection

FAP – First Article Prototype

FAIR – First Article Inspection Report

FAR – Federal Aviation Regulations

FPI – Fluorescent Penetrant Inspection

HAI – Hellenic Aerospace Industry

HPC – High Performance Cutting

HSC – High Speed Cutting

HWI – How to Work Instruction

IAQG – International Aerospace Quality Group

ID – Identity Document

ISO – International Organization for Standardisation

ITAR – International Traffic in Arms Regulations

LRQ – Lab Request

MPI – Magnetic Particle Inspection

MRP – Material Requirements Planning

NDI – Non-Destructive Inspection

NDT – Non-Destructive Testing

OTP – Order To Plan

PCTD – Process Control Tank Data Sheet

PHPAS – Perimeter and Hole Pattern Analysis Sheet

PL – Parts List

PME – Precision Measurement Equipment

PMEL – Precision Measurement Equipment Laboratory

PO – Purchase Order

PS – Process Specification

QMS – Quality Management System

QP – Qualification Plan

RFQ – Request For Quotation

SAP – Systems, Applications and Products in Data Processing

SIOS – Supplemental Installation Operation Sheet

SJAC – The Society of Japanese Aerospace Companies

TDA – Temporary Deviation Authorization

US DOD – US Department of Defense

EAB – Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία

ΥΠΑ – Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας

Κεφάλαιο 1^ο. Εισαγωγή

Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ) αποτελεί πυλώνα της αμυντικής και αεροναυπηγικής βιομηχανίας στην Ελλάδα, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην ανάπτυξη και υποστήριξη των αεροναυπηγικών δυνάμεων της χώρας και των διεθνών πελατών της. Ένας κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχή κατασκευή και διάθεση αεροπορικών συστημάτων είναι η διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των παραγόμενων εξαρτημάτων. Η κύρια πρόκληση που αντιμετωπίζει η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ) είναι η διασφάλιση της ποιότητας και η αποδοχή των πρωτότυπων απαρτίων, τα οποία είναι κρίσιμα για την κατασκευή και την συντήρηση των αεροσκαφών. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα εντοπίζεται στην πολυπλοκότητα και την λεπτομέρεια που απαιτείται για την ακριβή επιθεώρηση και έγκριση των πρώτων απαρτίων, καθώς και στην συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα ποιότητας και κανονισμούς.

Η σημασία του προβλήματος είναι ιδιαίτερα μεγάλη, καθώς η ποιότητα και η αξιοπιστία των αεροσκαφών εξαρτώνται άμεσα από την ακρίβεια και την ορθότητα των πρωτότυπων απαρτίων. Μερικές ποσοτικοποιημένες παράμετροι που αναδεικνύουν την σημασία του προβλήματος είναι:

- **Ο χρόνος:** Η καθυστέρηση στην αποδοχή των πρωτότυπων απαρτίων μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στην παραγωγή και στην παράδοση των αεροσκαφών, αυξάνοντας το συνολικό χρονοδιάγραμμα των έργων.
- **Το κόστος:** Η επανεπιθεώρηση και οι διορθωτικές ενέργειες σε μη συμμορφούμενα απάρτια αυξάνουν το κόστος παραγωγής. Ενδεικτικά, η επανεπεξεργασία και οι καθυστερήσεις μπορεί να αυξήσουν το κόστος κατά 20-30% ανά πρόγραμμα.
- **Η ασφάλεια:** Η ποιότητα των πρωτότυπων απαρτίων είναι κρίσιμη για την ασφάλεια των πτήσεων. Μη συμμορφούμενα εξαρτήματα μπορεί να οδηγήσουν σε αποτυχίες του συστήματος, με σοβαρές συνέπειες για την ασφάλεια των πτήσεων.

Η διαδικασία σχεδιασμού, παραγωγής, ποιοτικού ελέγχου και αποδοχής πρωτότυπου απαρτίου, γνωστή και ως First Article Inspection (FAI), διαδραματίζει επομένως καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων. Η FAI είναι μία δομημένη και συστηματική προσέγγιση που εξασφαλίζει ότι κάθε νέο ή τροποποιημένο εξάρτημα πληροί τις καθορισμένες προδιαγραφές και πρότυπα πριν από την έναρξη της μαζικής παραγωγής. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την ανάλυση των απαιτήσεων του πελάτη, την μελέτη

σκοπιμότητας, την διαδικασία σχεδίασης, την επιλογή υλικών και μεθόδων, την κατασκευή του πρωτότυπου, τον ποιοτικό και διαστατικό έλεγχο και την επαλήθευση της ορθότητας της συναρμολόγησης και της λειτουργικότητάς του.

Παράλληλα, λαμβάνουν χώρα μία σειρά από αυστηρές διαδικασίες και έλεγχοι που αφορούν την επιθεώρηση και πιστοποίηση της πρώτης ύλης και των χημικών, τον έλεγχο και την πιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, την διακρίβωση των οργάνων, καθώς και την πιστοποίηση των ειδικών διεργασιών.

Η τεκμηρίωση και η αναφορά των αποτελεσμάτων, καθώς και οι διορθωτικές ενέργειες που ενδέχεται να απαιτηθούν, ολοκληρώνουν την εμπεριστατωμένη διαδικασία της FAI. Αυτή η προσέγγιση προάγει την ποιότητα, την ασφάλεια και την αξιοπιστία, συμβάλλοντας στην επιτυχία και την βιωσιμότητα της αεροπορικής βιομηχανίας.

Προηγούμενες έρευνες σχετικά με την FAI έχουν επικεντρωθεί στα εξής:

- **Ανάλυση διαδικασιών FAI:** Έχουν αναλυθεί οι διαδικασίες της Επιθεώρησης Πρωτότυπου Απαρτίου και έχουν προταθεί μεθοδολογίες για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών αυτών.
- **Εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών:** Έχουν εντοπιστεί βέλτιστες πρακτικές από άλλους τομείς της αεροδιαστημικής βιομηχανίας και έχουν προταθεί για εφαρμογή.
- **Χρήση τεχνολογίας:** Έχει εξεταστεί η χρήση νέων τεχνολογιών, όπως η τρισδιάστατη σάρωση και οι μη καταστρεπτικές δοκιμές, για την βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των ελέγχων.

Παρά την πρόοδο που έχει γίνει, υπάρχουν ακόμα κενά στην έρευνα, όπως:

- **Συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης για την EAB:** Λείπουν συγκεκριμένες μελέτες που να επικεντρώνονται στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία και να αναλύουν λεπτομερώς τις διαδικασίες κατασκευής και ποιοτικού ελέγχου που ακολουθεί.
- **Ολοκληρωμένη αξιολόγηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών:**

Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση και η πρόταση ενός πλάνου βελτιστοποίησης που να περιλαμβάνει όλες τις φάσεις της παραγωγής και του ποιοτικού ελέγχου.

Στόχος επομένως της παρούσας Μελέτης, αποτελεί η ανάλυση και η αξιολόγηση των υφιστάμενων διαδικασιών FAI στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, καθώς και η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου Οδηγού για την διενέργεια της κατασκευής και επιθεώρησης πρωτότυπων εξαρτημάτων, που θα χρησιμοποιείται από τους νέους επιθεωρητές της EAB. Ταυτόχρονα, θα συμβάλλει στην κατανόηση της εμπλοκής του κάθε

τμήματος (παραγωγής, ποιότητας, planning) στην διαδικασία της FAI, στον τρόπο που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και εναρμονίζονται για την επίτευξη του στόχου, την κατασκευή αξιόπιστων και ασφαλών αεροναυπηγικών προϊόντων.

Η διάρθρωση της Μελέτης έχει ως εξής: Στο 2ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Πρότυπα Ποιότητας που εφαρμόζονται στην αεροπορική βιομηχανία. Ειδικότερα, αναλύονται το αεροπορικό Πρότυπο AS9100 που αποτελεί το Διεθνές Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας Αεροδιαστημικής για Οργανισμούς Αεροπορίας, Διαστήματος και Άμυνας, το Πρότυπο AS9102 για τις απαιτήσεις του First Article Inspection και το ISO 9001 για την Διαχείριση Ποιότητας.

Στο 3ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται παρουσίαση της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας όσον αφορά τους τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται, το Ποιοτικό Σύστημα που ακολουθεί και με ποιους τρόπους/μεθόδους τεκμηριώνεται.

Στο 4ο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία του First Article Inspection, μέσα από τέσσερα βασικά στάδια: τον σχεδιασμό, την παραγωγή, τον ποιοτικό έλεγχο και την αποδοχή του πρωτοτύπου. Καθένα από αυτά τα στάδια περιλαμβάνει μία σειρά από αυστηρές διαδικασίες και ελέγχους που διασφαλίζουν ότι το τελικό προϊόν ανταποκρίνεται στις υψηλότερες απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας.

Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης σχετικά με ένα δομικό εξάρτημα - απάρτιο του C-130J, που κατασκευάζεται στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία. Θα ακολουθηθεί όλη η διαδικασία που εφαρμόζεται, από την παραγγελία της πρώτης ύλης, την πρώτη κοπή, την έκδοση του πλάνου εργασιών, τις εργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε τμήμα και με ποιες μηχανές ή εργαλεία γίνονται, ποιες προδιαγραφές και οδηγίες ακολουθούνται, την επιφανειακή προστασία και βαφή, τον ποιοτικό και διαστατικό έλεγχο και τα όργανα που χρησιμοποιούνται, έως την προετοιμασία της τελικής αναφοράς (FAI Report) προκειμένου να κατατεθεί στον πελάτη από τον οποίο και θα δοθεί η τελική έγκριση ώστε το απάρτιο να μπει σε γραμμή παραγωγής. Λόγω διαβαθμισμένων πληροφοριών, έχουν παραληφθεί ή αφαιρεθεί συγκεκριμένα στοιχεία, όπως για παράδειγμα στις Φόρμες 1, 2 και 3 του First Article Inspection Report.

Η Εργασία ολοκληρώνεται με το 6ο Κεφάλαιο, όπου γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων, εξάγονται συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για την βελτίωση της διαδικασίας.

Κεφάλαιο 2. Ποιότητα στην αεροδιαστημική βιομηχανία

Η αεροδιαστημική βιομηχανία είναι ένας από τους πιο απαιτητικούς και προηγμένους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας, όπου η ποιότητα και η αξιοπιστία αποτελούν θεμελιώδεις παράγοντες για την επιτυχία και την ασφάλεια των προϊόντων και των υπηρεσιών. Τα συστήματα ποιότητας στην αεροδιαστημική βιομηχανία σχεδιάζονται για να διασφαλίζουν ότι κάθε προϊόν πληροί αυστηρά πρότυπα και κανονισμούς που έχουν τεθεί από διεθνείς και εθνικές αρχές, όπως η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA) και η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας των ΗΠΑ (FAA).

Περιλαμβάνουν μία σειρά από διαδικασίες και πρακτικές που εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των προϊόντων, από την σύλληψη και τον σχεδιασμό, έως την παραγωγή, την συντήρηση και την απόσυρση. Ταυτόχρονα όμως, δεν περιορίζονται μόνο στην τεχνική πτυχή, αλλά επεκτείνονται και στην οργάνωση και την διαχείριση των διαδικασιών, με στόχο την δημιουργία μίας κουλτούρας ποιότητας που προάγει την υπευθυνότητα, την διαφάνεια και την συνεχή εκπαίδευση και ανάπτυξη του προσωπικού. Αυτή η ολιστική προσέγγιση συμβάλλει στη δημιουργία ασφαλών, αξιόπιστων και υψηλής ποιότητας αεροναυπηγικών προϊόντων, που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των πελατών και των ρυθμιστικών αρχών.

2.1. Το αεροπορικό Πρότυπο AS9100

Το 1999, εκπρόσωποι του Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) που αποτελείτο από εκπροσώπους της Ομάδας Αεροδιαστημικής Ποιότητας της Αμερικής (AAQG), της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αεροδιαστημικών Βιομηχανιών (AECMA), της Εταιρείας Ιαπωνικών Αεροδιαστημικών Εταιρειών (SJAC) και της βραζιλιάνικης αεροδιαστημικής βιομηχανίας, παρουσίασαν το AS9100. Χρησιμοποιώντας το ISO 9001 ως βάση, αυτό το διεθνές πρότυπο διαχείρισης ποιότητας είναι προσαρμοσμένο ειδικά για την αεροδιαστημική βιομηχανία. Το AS9100 αναθεωρήθηκε το 2001, το 2004, το 2009 και το 2016. Η τρέχουσα έκδοση είναι η AS9100 Αναθεώρηση D (AS9100D) και είναι ευθυγραμμισμένη με το ISO 9001:2015 όπου το περιέχει στο σύνολό του, μαζί με πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις για την αεροδιαστημική και την άμυνα.

Συγκεκριμένα, το AS9100 περιλαμβάνει ειδικές οδηγίες και απαιτήσεις που αφορούν το διάστημα, την αεροπορία, και εν γένει τις αμυντικές βιομηχανίες, τομείς όπου η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η συμμόρφωση έχουν ιδιαίτερα κρίσιμη σημασία. Για τον λόγο αυτόν, οι απαιτήσεις για την διαχείριση του κινδύνου, της εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά και την ιχνηλασιμότητα είναι πολύ αυστηρότερες. Το Πρότυπο απαιτεί επί πλέον από τους οργανισμούς να συμμορφώνονται με ειδικούς κανονισμούς και πρότυπα του κλάδου, όπως για παράδειγμα τους Κανονισμούς Διεθνούς Κυκλοφορίας Όπλων (ITAR) και τους Ομοσπονδιακούς Κανονισμούς Αεροπορίας (FAR).

Όπως και τα άλλα ISO της σειράς ISO 9001, το AS9100D έχει σχεδιαστεί για να μειώνει τα ελαττώματα στην αλυσίδα προμηθευτών, να βελτιώνει συνεχώς την ποιότητα και να ενισχύει την ικανοποίηση των πελατών. Ωστόσο, περιλαμβάνει πρόσθετες διατάξεις που σχετίζονται με τον σχεδιασμό του προϊόντος, τις δοκιμές, την πιστοποίηση και την συμμόρφωση με τους ειδικούς κανονισμούς και τα πρότυπα του κλάδου της αεροδιαστημικής, ενώ μπορεί να μειώσει σημαντικά τον αριθμό των ωρών που δαπανώνται σε ελέγχους, απαιτήσεις και τεκμηρίωση. (“Κατανόηση του AS9100: The Aerospace Quality Management Standard”, 2023)

Το AS9100 γεμίζει επίσης το κενό που δημιουργήθηκε από την ακύρωση από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση των ΗΠΑ μακροπρόθεσμων προτύπων, όπως το MIL-Q-9858A και το MIL-I-45208A, τα οποία αποτελούσαν για χρόνια τις βασικές αρχές της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, με ένα ολοκληρωμένο πρότυπο συστημάτων διαχείρισης ποιότητας. Το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (USDOD) και η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας (FAA) έχουν εγκρίνει το AS9100 για χρήση συνδυαστικά με τις μεμονωμένες προδιαγραφές τους (Apostol et al, 2021) Το σύνολο των απαιτήσεων του AS9100 παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1.

Όπως το ISO 9001, το AS9100 είναι ένα εθελοντικό πρότυπο, ωστόσο έχει λάβει πρωτοφανή υποστήριξη και αποδοχή από τον ιδιωτικό και τον δημόσιο τομέα. Κορυφαίοι εργολάβοι αεροδιαστημικής όπως η Boeing, η Airbus, η General Electric Aircraft Engines, η Lockheed-Martin, η Rolls Royce Allison και η Pratt & Whitney απαιτούν από τους προμηθευτές τους να εγγραφούν στα AS9100 και ISO 9001.(Τζήτς & Ρορ, 2019)

Με την εγγραφή τους στα AS9100 και ISO 9001, οι εταιρείες που συνεργάζονται με τους κύριους εργολάβους της αεροδιαστημικής παρουσιάζουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Το ρυθμιστικό βάρος μειώνεται, έτσι οι προμηθευτές μπορούν να αφιερώσουν περισσότερο

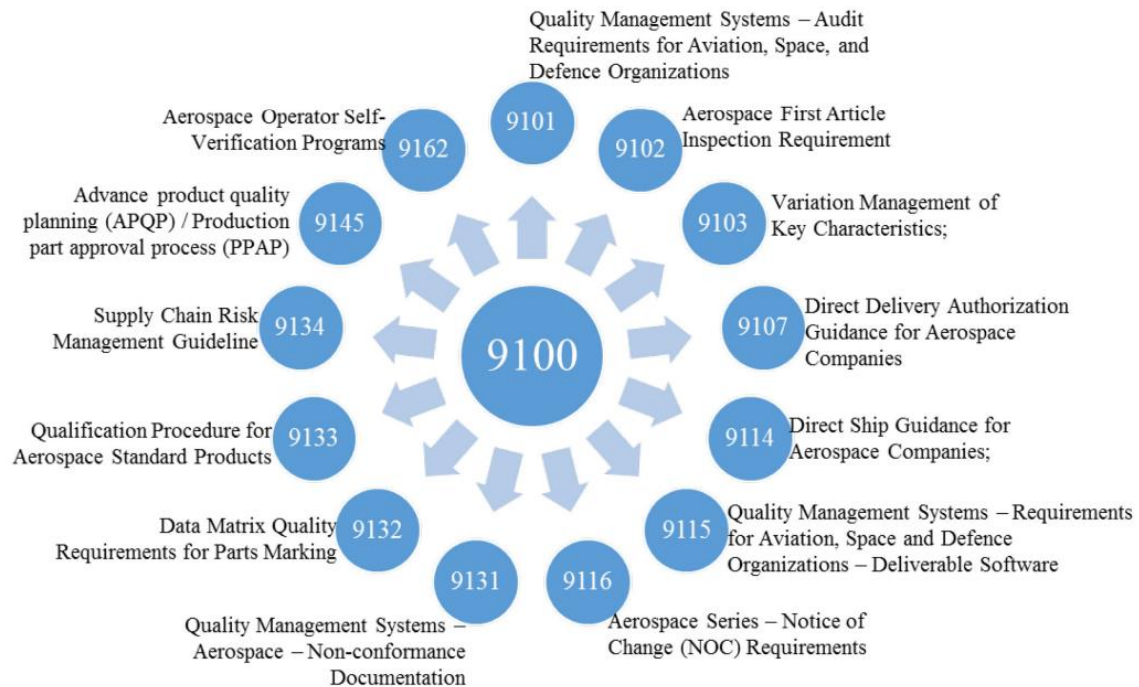
χρόνο στην βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας σε έναν κλάδο που θέτει κορυφαία προτεραιότητα την ασφάλεια και την ποιότητα.

Το AS9100D αντιμετωπίζει επίσης το flowdown, μία σημαντική ιδέα της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, η οποία αναφέρεται στην διαδικασία μεταφοράς απαιτήσεων, προτύπων και κανονισμών από τους κύριους κατασκευαστές και τους πελάτες τους, προς τους προμηθευτές και τους υποκατασκευαστές. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι στην παραγωγή και την προμήθεια ανταλλακτικών και εξαρτημάτων, συμμορφώνονται με τις ίδιες αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας και ασφάλειας. Οι σημαντικότεροι κατασκευαστές και προμηθευτές αεροσκαφών έχουν αυξήσει τις αγορές τους από άλλους προμηθευτές – μία εκτίμηση είναι ότι το 60% με 80% των εξαρτημάτων ενός αεροπλάνου αγοράζονται από εξωτερικούς εργολάβους.

Έτσι, οι κύριοι εργολάβοι της αεροδιαστημικής υποστηρίζουν την ροή των απαιτήσεων του συστήματος διαχείρισης ποιότητας από τις δικές τους δραστηριότητες στους προμηθευτές και στους υπεργολάβους αυτών των εταιρειών. Το flowdown περιλαμβάνει προδιαγραφές για σχέδια εξαρτημάτων ή συναρμολόγησης, χαρακτηριστικά, επιθεωρήσεις και άλλες λειτουργίες διεργασίας και χαρακτηριστικά προϊόντος.

Σύμφωνα με τους κανόνες της IAQG (International Aerospace Quality Group), οι προμηθευτές αεροδιαστημικής εγγράφονται τόσο στο AS9100 όσο και στο ISO 9001:2015 ενώ απαιτούνται τακτικοί έλεγχοι επιτήρησης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι μια εταιρεία διατηρεί και εφαρμόζει το σύστημα διαχείρισης ποιότητας.

Η τεκμηρίωση (ή τήρηση αρχείων) είναι ο μόνος αντικειμενικός τρόπος προκειμένου μία εταιρεία αεροδιαστημικής να διαβεβαιώσει τους πελάτες της ότι παρέχει ποιοτικά προϊόντα. Προκειμένου να εξασφαλίζεται η αντικειμενικότητα, ένας ανεξάρτητος φορέας πιστοποίησης διενεργεί τακτικούς ελέγχους ώστε να επαληθεύει εάν το σύστημα διαχείρισης ποιότητας που χρησιμοποιείται πληροί όλες τις απαιτήσεις. Αυτή η ανεξάρτητη αξιολόγηση είναι σημαντική για τον πελάτη, διότι αποτελεί αμερόληπτη εγγύηση ότι η εταιρεία αποδίδει στο υψηλότερο επίπεδο. (EN 9100: 2018)



Εικόνα 2.1. Σύνολο απαιτήσεων του AS9100 (Τίτς & Ρορ, 2019)

2.2. Το Πρότυπο AS9102

Η βιομηχανία αερομεταφορών, διαστήματος και άμυνας ίδρυσε τον Οργανισμό International Aerospace Quality Group (IAQG) με εκπροσώπηση εταιρειών από Αμερική, Ασία/Ειρηνικό και Ευρώπη, με σκοπό την επίτευξη σημαντικών βελτιώσεων στην ποιότητα και την ασφάλεια και μείωση του κόστους σε όλη την αλυσίδα αξίας (value stream). Αυτό το διεθνές πρότυπο έχει εκδοθεί από την IAQG.

Το πρότυπο AS9102 περιλαμβάνει τις απαιτήσεις τεκμηρίωσης όσον αφορά την επιθεώρηση του πρωτότυπου απαρτίου (FAI). Ο σκοπός της επιθεώρησης του πρώτου κομματιού πριν ξεκινήσει η γραμμή παραγωγής είναι να παράσχει αντικειμενική απόδειξη ότι όλες οι απαιτήσεις μηχανικού σχεδιασμού και προδιαγραφών είναι σωστές, κατανοητές, υπολογισμένες, επαληθευμένες και τεκμηριωμένες. Με τον τρόπο αυτόν, προβλέπεται ότι η τεκμηρίωση που δημιουργείται θα αποτελεί αρχείο ποιότητας του προμηθευτή και του πελάτη για λόγους ανασκόπησης και προγραμματισμού, για την εκτέλεση περιοδικής επιτήρησης και ελέγχων για την επαλήθευση της συμμόρφωσης, για την αξιολόγηση της βασικής αιτίας (root cause) και διορθωτικών ενεργειών (corrective actions) για τυχόν μη συμμόρφωση, καθώς και για διερευνήσεις προβλημάτων. (“What is AS9102 First Article Inspection?”, 2024)

Το Πρότυπο τυποποιεί τις απαιτήσεις της διαδικασίας FAI στο μέγιστο δυνατό βαθμό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας από οργανισμούς σε όλο τον κόσμο προκειμένου να παρέχει μία σταθερή μέθοδο και απαιτήσεις τεκμηρίωσης για την επαλήθευση του προϊόντος της αεροπορίας, του διαστήματος και της άμυνας. Η χρήση του θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα βελτίωση στην ποιότητα, τα χρονοδιαγράμματα και τα κόστη του οργανισμού και την ευρύτερη εφαρμογή καλών πρακτικών. Αν και έχει αναπτυχθεί κυρίως για την αεροπορία, το διάστημα και την αμυντική βιομηχανία, αυτό το πρότυπο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε άλλους βιομηχανικούς τομείς όπου απαιτείται μία τυποποιημένη διαδικασία FAI. Σε περίπτωση σύγκρουσης μεταξύ των απαιτήσεων αυτού του προτύπου και των ισχυουσών νομοθετικών ή κανονιστικών απαιτήσεων, υπερισχύουν οι ισχύουσες νομοθετικές ή κανονιστικές απαιτήσεις. (EN9102:2023)

Το πρώτο AS9102 δημοσιεύτηκε το 2000 και περιελάμβανε τυποποιημένες απαιτήσεις για την διαδικασία FAI στον τομέα της αεροδιαστημικής, ενώ αποτέλεσε την κοινή φόρμα τεκμηρίωσης για τους προμηθευτές FAI. Η έκδοση A δημοσιεύτηκε το 2004, καθόρισε πότε πρέπει να γίνεται η επιθεώρηση του πρώτου απαρτίου αλλά όχι με ποιον τρόπο. Παράλληλα, παρουσίασε μία βελτιωμένη διάταξη και αναγνωσιμότητα του Προτύπου εξαλείφοντας σημεία σύγχυσης και παρέχοντας ανοιχτά πεδία για χρήση εκτός του AS9102. Η έκδοση B δημοσιεύτηκε το 2014 παρουσιάζοντας ενισχυμένο πεδίο εφαρμογής και σκοπό προκειμένου να τονιστεί η αξία της FAI, διαχωρίστηκαν οι δραστηριότητες σχεδιασμού από τις δραστηριότητες αξιολόγησης, έλυσε το θέμα του ορισμού ψηφιακού προϊόντος (DPD) και παρουσίασε FAQ (συχνές ερωτήσεις) για την αποσαφήνιση πολύπλοκων εννοιών. (“What are the Differences Between AS9102 Rev B and Rev C?”, 2019)

Η τελευταία έκδοση του Προτύπου(C) που δημοσιεύτηκε τον Ιούνιο του 2023 αναθεώρησε και έδωσε έμφαση στις δραστηριότητες σχεδιασμού, αξιολόγησης και εκ νέου ολοκλήρωσης της διαδικασίας FAI, ενώ βελτίωσε τα έντυπα τεκμηρίωσης FAI Report (FAIR). Έγιναν επίσης ορισμένες πρόσθετες αλλαγές για την καλύτερη ευθυγράμμιση των απαιτήσεων με το ευρύτερο αεροπορικό πρότυπο AS9100. (“AS9102 First Article Inspection Report Rev B vs Rev C”, 2023)

2.3. Το Πρότυπο ISO 9001

Το ISO 9001 είναι ένα παγκοσμίως αναγνωρισμένο πρότυπο για την διαχείριση ποιότητας. Βοηθά οργανισμούς όλων των μεγεθών και τομέων, περιλαμβανομένης της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, να βελτιώσουν την απόδοσή τους, να ανταποκριθούν στις προσδοκίες των

πελατών και να επιδείξουν τη δέσμευσή τους στην ποιότητα. Οι απαιτήσεις του καθορίζουν τον τρόπο δημιουργίας, εφαρμογής, διατήρησης και συνεχούς βελτίωσης ενός συστήματος διαχείρισης ποιότητας (Quality Management System-QMS). Το ISO 9001:2015 (η πιο πρόσφατη έκδοση του προτύπου) αποτελείται από έναν αριθμό διαφορετικών ενοτήτων, (Εικόνα 2.2), καθεμία από τις οποίες επικεντρώνεται στις απαιτήσεις που σχετίζονται με διαφορετικές πτυχές ενός συστήματος διαχείρισης ποιότητας:

- Παράγραφοι 0-3 – Εισαγωγή και πεδίο εφαρμογής του προτύπου
- Παράγραφος 4 – Πλαίσιο του οργανισμού
- Παράγραφος 5 – Ηγεσία
- Παράγραφος 6 – Σχεδιασμός
- Παράγραφος 7 – Υποστήριξη
- Παράγραφος 8 – Λειτουργία
- Παράγραφος 9– Αξιολόγηση απόδοσης
- Παράγραφος 10– Βελτίωση (“Οδηγός για το Πρότυπο ISO 9001:2015”, 2016)

Το ISO 9001 βασίζεται σε 7 βασικές αρχές διαχείρισης της ποιότητας που είναι οι εξής:

1. Η εστίαση στον πελάτη

Η ικανοποίηση των αναγκών του πελάτη αποτελεί πρωταρχικό στόχο της διοίκησης ποιότητας, όπως και η εστίαση στις υπόλοιπες ομάδες των ενδιαφερομένων μερών (stakeholders).

2. Η Ηγεσία

Μία ισχυρή ηγεσία εξασφαλίζει ότι όλα τα μέρη του οργανισμού κατανοούν και εργάζονται προς την επίτευξη των στόχων.

3. Η ενεργός συμμετοχή του προσωπικού

Η ικανότητα, η ενδυνάμωση και η αφοσίωση του προσωπικού εξασφαλίζει την δημιουργία αξίας για τους πελάτες.

4. Η διεργασιακή προσέγγιση

Η κατανόηση των δραστηριοτήτων και των διαδικασιών του οργανισμού, έχει ως αποτέλεσμα την λειτουργία του ως ενιαίο σύστημα και την επίτευξη των στόχων.

5. Η βελτίωση

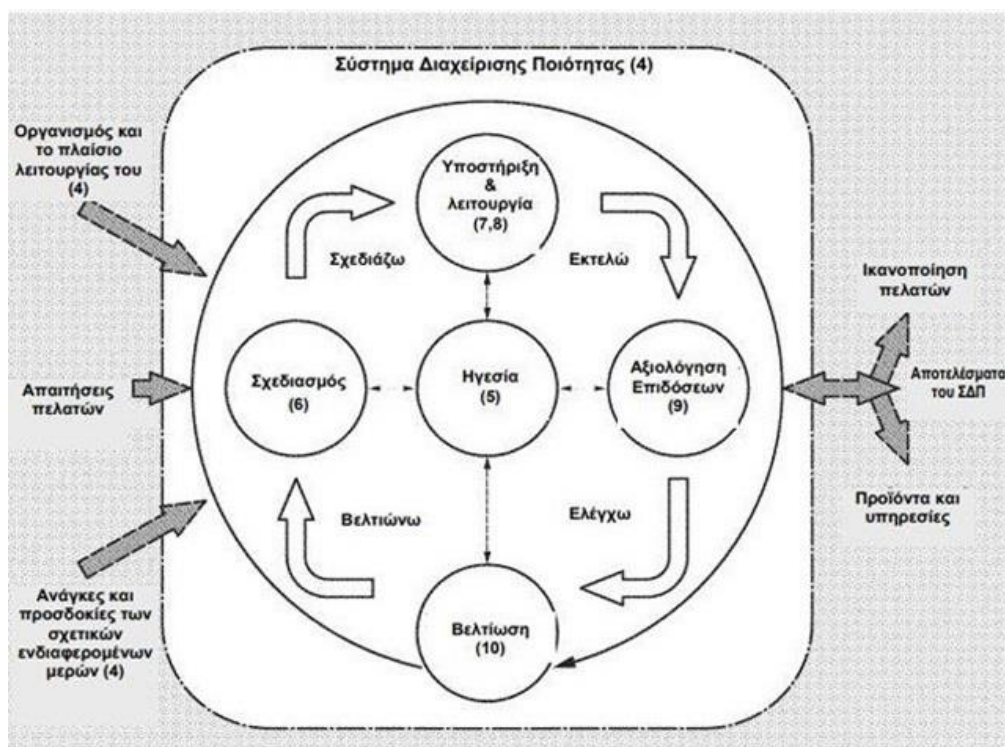
Η συνεχής προσπάθεια για βελτίωση και η ευελιξία σε εσωτερικές ή εξωτερικές αλλαγές, προσδίδει προστιθέμενη αξία στους πελάτες.

6. Η λήψη αποφάσεων βάσει τεκμηρίων

Η ανάλυση και η αξιολόγηση δεδομένων οδηγεί στην λήψη ορθών αποφάσεων, οδηγώντας στα επιθυμητά αποτελέσματα των οργανισμών.

7. Η διαχείριση σχέσεων με τα ενδιαφερόμενα μέρη

Στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων προϊόντων εμπλέκονται εκτός από τον ίδιο τον οργανισμό και εκπρόσωποι των προμηθευτών, επομένως η δημιουργία πλάνου διαχείρισης των σχέσεων με τα ενδιαφερόμενα μέρη, θεωρείται καίριας σημασίας για την επιτυχία. (Τσαρούχας & Ντέλιου, 2018)



Εικόνα 2.2. Δομή του Προτύπου 9001:2015 (Ζιάτα, 2017)

Κεφάλαιο 3. Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία

3.1. Παρουσίαση της εταιρείας

Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία ιδρύθηκε το 1975 και κύρια αποστολή της αποτελεί η παροχή υπηρεσιών και προϊόντων για την υποστήριξη των Ελληνικών Ενόπλων Δυνάμεων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργήσει μία διευρυμένη πελατειακή βάση που αποτελείται από μεγάλες διεθνείς εταιρείες του βιομηχανικού κλάδου της αεροναυπηγικής.

Οι κύριοι τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται είναι οι εξής:

3.1.1. Εργοστάσιο Αεροκατασκευών

Το Εργοστάσιο Αεροκατασκευών λειτουργεί ως υποκατασκευαστής ή συνεργάτης μεγάλων κατασκευαστών του αεροναυπηγικού τομέα και στις εγκαταστάσεις του πραγματοποιείται σχεδιασμός, κατασκευή και συναρμολόγηση δομικών τμημάτων στρατιωτικών και πολιτικών αεροσκαφών και κινητήρων. Τα συνεργεία του εκτελούν εργασίες:

- Πρώτης Κοπής
- Κατασκευής Κοπτικών Εργαλείων
- Ελασματοουργικών Κατασκευών και Επιφανειακών Κατεργασιών
- Μηχανουργικών Κατασκευών
- Κατασκευής Σωληνώσεων
- Συναρμολόγησης Συγκροτημάτων και Υποσυγκροτημάτων

Επίσης, οι δυνατότητες του συγκροτήματος περιλαμβάνουν τα εξής:

- CAD/CAM και Ανάλυσης Μηχανολογικών Σχεδίων.
- Σχεδίαση και κατασκευή ειδικών εργαλείων (CATIA).
- Σύστημα παρακολούθησης προμηθειών υλικών παραγωγής (MRP).
- Σχεδίαση και κατασκευή κοπτικών.
- Μηχανουργικές Κατεργασίες (μέχρι 5-αξόνων CNC)
- Ελασματοουργικές διαμορφώσεις (περιλαμβανομένης και της διαμόρφωσης με εξέλαση)
- Χημικές κατεργασίες
- Επιφανειακές κατεργασίες
- Συγκολλήσεις
- Διαμόρφωση Σωληνώσεων

- Συναρμολόγησης
- Συσκευασία και Μεταφορά
- Προγραμματισμός και Έλεγχος Συστημάτων Παραγωγής.
- Σύστημα παρακολούθησης προμηθειών υλικών παραγωγής (SAP)
- Μελέτες Κατασκευών
- Προγραμματισμός Ψηφιακών Μηχανών (CNC)
- Διοίκηση Προγραμμάτων

3.1.2. Εργοστάσιο Συντήρησης Αεροσκαφών και Κινητήρων

Το εργοστάσιο παρέχει δυνατότητα Μετατροπών, Συντήρησης, Επισκευών και Υπηρεσιών Πολεμικών Αεροσκαφών / Ελικοπτέρων και των παρελκόμενων αυτών, ενώ διαθέτει δυνατότητες δομικής αναβάθμισης αεροσκαφών και αναβάθμισης και εκσυγχρονισμού των ηλεκτρομηχανικών, αεροϋδραυλικών και ηλεκτρονικών τους συστημάτων, όπως επίσης και δυνατότητα αποκατάστασης εκτεταμένων ζημιών σε πολλούς τύπους αεροσκαφών. Τα συνεργεία που βρίσκονται στις κτιριακές του εγκαταστάσεις είναι τα εξής:

- Αεροϋδραυλικών Συστημάτων
- Ελίκων και Στροβίλων
- Οπλικών Συστημάτων
- Συστημάτων Διαφυγής
- Ηλεκτρικών Συστημάτων
- Συστημάτων Καυσίμου
- Οργάνων και Ηλεκτρονικών Συστημάτων
- Καθισμάτων και Αλεξίπτωτων
- Πλαστικών και Ξύλινων Μερών
- Μηχανουργικών Κατεργασιών
- Ελασματοουργικών Κατεργασιών
- Αντιδιαβρωτικού Ελέγχου
- Μη Καταστροφικού Ελέγχου (NDI/NDT)
- Πλύσης Αεροσκαφών
- Βαφής Αεροσκαφών
- Ολικού Αποχρωματισμού Αεροσκαφών

3.1.3. Εργοστάσιο Ηλεκτρονικών

Το εργοστάσιο Ηλεκτρονικών παρέχει υποστήριξη σε Συστήματα Πλοήγησης και Ναυτιλίας Αεροσκαφών, Ραντάρ Εδάφους, Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, Συστήματα Εδάφους καθώς και σε Πυραυλικά Συστήματα. Περιλαμβάνει δραστηριότητες που αφορούν τα παρακάτω:

- Κατασκευή και Συναρμολόγηση Ηλεκτρονικών Συστημάτων, Μονάδων και Υπομονάδων.
- Στατικό και Δυναμικό Λειτουργικό Έλεγχο σε περιβάλλον εργοστασίου και προσομοιωμένο περιβάλλον πεδίου λειτουργίας.
- Κατασκευή και Συναρμολόγηση και Έλεγχο Οπλικών Συστημάτων ή Υποσυστημάτων.

3.1.4. Υπηρεσία Διακρίβωσης

Η Υπηρεσία Διακρίβωσης είναι υπεύθυνη για την διακρίβωση και δοκιμή των οργάνων και συσκευών σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Μετρολογίας, ενώ παρέχει υπηρεσίες τόσο μέσα στην ΕΑΒ, όσο και σε πελάτες, όπως τις Ένοπλες Δυνάμεις, Βιομηχανίες, Ερευνητικά Κέντρα, Δημόσιους Οργανισμούς, Εταιρείες Τεχνικής Βοήθειας και Αεροπορικές εταιρείες. Το Εργαστήριο καταλαμβάνει χώρο 600 τ.μ. και διαθέτει τρία επί μέρους εργαστήρια: Ηλεκτρονικών, Διαστατικών Ελέγχων και Φυσικών Μεγεθών.

3.1.5. Εκπαίδευση

Τα εκπαιδευτικά προγράμματα της ΕΑΒ είναι είτε ενιαία, είτε αρθρωτά (διαμορφωμένα σε ενότητες διαφορετικού επιπέδου μάθησης) και στοχεύουν στο να βοηθήσουν τους εκπαιδευόμενους να διευρύνουν τις ικανότητές τους σε ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων της αεροπορικής βιομηχανίας καθώς και σε θέματα διοίκησης και διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έχουν εγκριθεί από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) και διεξάγονται είτε θεωρητικά σε πλήρως εξοπλισμένα εργαστήρια ή κατά κύριο λόγο πρακτικά με πλήρη εκμετάλλευση των χώρων παραγωγής της ΕΑΒ.

Τα προσφερόμενα προγράμματα περιλαμβάνουν τους εξής τομείς:

- Συντήρηση Αεροσκαφών και Ελικοπτέρων
- Συντήρηση αεροκινητήρων
- Συντήρηση παρελκόμενων

- Συντήρηση ηλεκτρικών συστημάτων αεροσκαφών
- Αντιδιαβρωτικός Έλεγχος και Βαφή
- Διοίκηση Δραστηριοτήτων Συντήρησης
- Ποιοτικός Έλεγχος και Διασφάλιση
- Δομικές Επισκευές
- Συντήρηση ηλεκτρονικών συστημάτων αεροσκαφών
- Μετρήσεις ακριβείας / διακρίβωσης
- Εφαρμογές ηλεκτρονικών υπολογιστών
- Μη καταστροφικοί έλεγχοι (NDI / NDT)
- Τεχνικές συγκολλήσεων στην Αεροναυπηγική
- Συντήρηση Εξοπλισμού υποστήριξης εδάφους
- Human Factors

(HAI-“Προϊόντα και Υπηρεσίες”, n.d.)

3.2. Ποιοτικό Σύστημα Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας

Η HAI διατηρεί ένα τεκμηριωμένο, αποτελεσματικό και οικονομικό Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας ώστε να παρέχει αποδεκτά προϊόντα που πληρούν τις απαιτήσεις των πελατών, των εφαρμοστέων προτύπων και της ρυθμιστικής αρχής.

Το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας στοχεύει:

- Στην ενίσχυση της ικανοποίησης των πελατών όπως ορίζεται από τις ισχύουσες συμβατικές συμφωνίες.
- Στην συνεχή βελτίωση του συστήματος.

Το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας που εφαρμόζεται στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, πληροί τις απαιτήσεις των παρακάτω προτύπων στα πεδία πιστοποίησης που αναγράφονται σε κάθε πρότυπο όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

EN ISO 9001:2015 «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας – Απαιτήσεις» (Γενική συντήρηση, επισκευή και ανακατασκευή αεροσκαφών, κινητήρων αεροσκαφών και των εξαρτημάτων/αξεσουάρ τους. Σχεδίαση και κατασκευή δομικών μερών και συναρμολόγηση αεροσκαφών και κινητήρων αεροσκαφών. Γενική επισκευή και συντήρηση ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αεροσκαφών, αεροναυτιλίας, ραντάρ και συστημάτων υποστήριξης εδάφους. Σχεδίαση και κατασκευή συστημάτων για επικοινωνία, οπτική και

οπτρονική, υπολογιστές, επιτήρηση, διοίκηση και έλεγχος, πληροφορίες επικοινωνίας και προμήθεια αεροναυτιλίας. Κατασκευή ηλεκτρικών καλωδίων για την αεροδιαστημική και την άμυνα. Σχεδίαση και παροχή υπηρεσιών εκπαίδευσης. Τεχνικές υπηρεσίες Κέντρου Δοκιμών και Κέντρου Διακρίβωσης Εξοπλισμού).

EN 9100:2018 / AS 9100D «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας – Απαιτήσεις για την Αεροπορία, Οργανισμοί Διαστήματος και Άμυνας» (Σχεδιασμός και Ανάπτυξη, Κατασκευή και Συναρμολόγηση Αεροδιαστημικών Κατασκευών. Κατασκευή ηλεκτρικών καλωδίων για την αεροδιαστημική και την άμυνα).

EN 9110:2018 / AS 9110C ««Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας – Απαιτήσεις για την Οργανισμούς Συντήρησης Αεροπορίας» (Συντήρηση, επισκευή, γενική επισκευή και αναβάθμιση αεροσκαφών P-3B, C-130 B-H, F-16 Viper και των εξαρτημάτων τους. Συντήρηση, επισκευή, επισκευή κινητήρων T-56, M-53, TF-33 και των εξαρτημάτων τους).

ISO 17025:2017 «Γενικές απαιτήσεις για την ικανότητα των εργαστηρίων δοκιμών και βαθμονόμησης» (Διαπιστευμένο Εργαστήριο που πραγματοποιεί διακριβώσεις σε ηλεκτρικές και διαστασιολογικές μετρήσεις).

ISO 14001:2015 «Συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης — Απαιτήσεις με οδηγίες χρήσης» (Σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης σύμφωνα με το πρότυπο για την συντήρηση και επισκευή αεροσκαφών, κινητήρων, ηλεκτρονικών, την κατασκευή και συναρμολόγηση εξαρτημάτων και εξαρτημάτων αεροσκαφών και ελικοπτέρων).

EASA Part 21G «Κανόνες εφαρμογής για την αξιοπλοΐα και την περιβαλλοντική πιστοποίηση αεροσκαφών και συναφών προϊόντων, εξαρτημάτων και συσκευών, καθώς και για την πιστοποίηση οργανισμών σχεδιασμού και παραγωγής» (Παραγωγή προϊόντων, εξαρτημάτων και συσκευών που αναφέρονται στο πεδίο εργασιών του πιστοποιητικού και την έκδοση σχετικών πιστοποιητικών).

EASA Part 145 «Συνεχής αξιοπλοΐα αεροσκαφών και αεροναυτικών προϊόντων, εξαρτημάτων και συσκευών και έγκριση οργανισμών και προσωπικού που εμπλέκονται σε αυτά τα καθήκοντα» (Συντήρηση προϊόντων, εξαρτημάτων και συσκευών που αναφέρονται στο πεδίο εργασιών του πιστοποιητικού και την έκδοση σχετικών πιστοποιητικών αποδέσμευσης σε υπηρεσία).

EASA Part 147 «Συνεχής αξιοπλοΐα αεροσκαφών και αεροναυτικών προϊόντων, εξαρτημάτων και συσκευών και έγκριση οργανισμών και προσωπικού που εμπλέκονται σε αυτά τα καθήκοντα» (Οργανισμός εκπαίδευσης συντήρησης του Part 147, εγκεκριμένος

για την παροχή εκπαίδευσης και την διεξαγωγή εξετάσεων που αναφέρονται στο πεδίο εργασιών του πιστοποιητικού και την έκδοση σχετικών πιστοποιητικών αναγνώρισης σε εκπαιδευόμενους).

STANAG 4107 «Αμοιβαία αποδοχή της κυβερνητικής Διασφάλισης Ποιότητας και χρήσης των Εκδόσεων Allied Quality Assurance (AQAP)».

NADCAP για Non Destructive Testing / Fluorescent Penetrant Inspection

(HAI-“Προϊόντα και Υπηρεσίες”, n.d.)

3.3. Τεκμηρίωση Ποιοτικού Συστήματος ΕΑΒ

Πολλοί πελάτες με τους οποίους συνεργάζεται η ΕΑΒ αποτελούν από τους σημαντικότερους κατασκευαστές στον χώρο της Αεροναυπηγικής όπως είναι η Lockheed Martin, η Boeing, η Dassault, η General Electric, η Alenia, κ.α., γεγονός που επιτάσσει την ύπαρξη ενός τεκμηριωμένου συστήματος Ποιότητας. Έτσι, διατηρούνται αρχεία προκειμένου να αποδεικνύεται η συμμόρφωση με καθορισμένες απαιτήσεις και η αποτελεσματική λειτουργία του Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας. Τα σχετικά αρχεία ποιότητας ελέγχονται (αρχειοθετούνται και αποθηκεύονται) κατά την επιθεώρηση λήψης υλικού από τους εξωτερικούς πάροχους, επιτρέποντας ταυτόχρονα στους Πελάτες / Εξουσιοδοτημένους Αντιπροσώπους και τις Ρυθμιστικές Αρχές της να επαληθεύουν την ποιότητα των εργασιών που εκτελούνται και να έχουν πρόσβαση σε αρχεία και υλικά σε οποιοδήποτε σημείο εντός των εγκαταστάσεών της.

Όλα τα αρχεία είναι ευανάγνωστα και αναγνωρίσιμα για το εμπλεκόμενο προϊόν, ενώ αποθηκεύονται και διατηρούνται για την περίοδο που απαιτείται από την σύμβαση ή σύμφωνα με την ισχύουσα διαδικασία, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ανακτηθούν εύκολα σε εγκαταστάσεις που παρέχουν κατάλληλο περιβάλλον για την αποφυγή απώλειας, ζημιών ή φθοράς.

Τα αρχεία περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Απόδειξη παραλαβής επιθεώρησης και συμμόρφωσης όλων των εισερχόμενων υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του προϊόντος.
- Τεκμηρίωση προμήθειας.

- Διατήρηση ταυτότητας υλικού, ιχνηλασιμότητα στην πηγή και συσχέτιση με την ταυτότητα του προϊόντος όταν απαιτείται από τη σύμβαση.
- Αναφορές επιθεώρησης, δοκιμών κ.λπ., συμπεριλαμβανομένης της ταυτότητας του υπεύθυνου προσωπικού, των ποσοτήτων που έγιναν δεκτές ή απορρίφθηκαν, της φύσης και του αριθμού των ελλείψεων που εντοπίστηκαν και των διατάξεων που ακολουθήθηκαν για την εξάλειψη των ελλείψεων.
- Αποδεικτικά στοιχεία για την εφαρμογή των προγραμματισμένων ελέγχων ποιότητας του προγράμματος, σχεδιασμένα να διασφαλίζουν ότι το εμπλεκόμενο προσωπικό, οι διαδικασίες και οι διαδικασίες πληρούν τις κατάλληλες καθορισμένες απαιτήσεις.
- Οι Εκθέσεις/Αναφορές Διορθωτικής Δράσης / Αναφορές Προληπτικής Δράσης.
- Έλεγχος σφραγίδων ελέγχου.
- Πιστοποίηση προσωπικού/διαδικασιών όπως απαιτείται από προδιαγραφές ή σύμβαση.
- Απαιτήσεις εναλλαξιμότητας και δυνατότητας αντικατάστασης κατά περίπτωση.
- Εκτελεσμένες οδηγίες εργασίας, οι οποίες ορίζουν βήμα-βήμα την αποδοχή επεξεργασίας και επιθεώρησης κάθε εξαρτήματος, υποσυστατικού ή συναρμολόγησης.
- Εκθέσεις εργαστηριακής ανάλυσης.
- Αποδεικτικά στοιχεία για την εφαρμογή προγράμματος βαθμονόμησης για Εξοπλισμό Μετρήσεων Ακριβείας.
- Αναφορές επιθεώρησης εργαλείου και μετρητή.
- Εκθέσεις Επιθεώρησης Πρωτότυπων Απαρτίων.
- Αναφορές Εσωτερικής και Εξωτερικής Απόρριψης.
- Κατάσταση Τροποποίησης / Ανάλυση Εφαρμογής Διαμόρφωσης.
- Σχετικά αρχεία ποιότητας που δημιουργούνται και διατηρούνται από εξωτερικούς παρόχους. Οι εγγραφές μπορεί να έχουν την μορφή οποιουδήποτε τύπου μέσων, όπως έντυπα ή ηλεκτρονικά μέσα. (“HAI- Company Quality Manual”, 2024)

Κεφάλαιο 4. Διαδικασία παραγωγής, επιθεώρησης και αποδοχής Πρωτότυπου Απαρτίου (First Article Inspection)

4.1. Τι είναι η Επιθεώρηση Πρωτότυπου Απαρτίου

Η επιθεώρηση πρωτότυπου απαρτίου (FAI) όχι μόνο επαληθεύει τις προδιαγραφές του σχεδίου αλλά επίσης εξετάζει την όλη διαδικασία της παραγωγής. Επαληθεύει δηλαδή ότι ένα προϊόν πληροί όλες τις απαιτήσεις μηχανικής και σχεδιασμού που καθορίζονται στο σχέδιο, ενώ κατά την διάρκεια της πρώτης επιθεώρησης του αντικειμένου, ένας εκπαιδευμένος επιθεωρητής εξετάζει το προϊόν και το συγκρίνει με το σχέδιο για να διασφαλίσει ότι πληρούνται όλες οι προδιαγραφές, όπως οι διαστάσεις, οι ανοχές και τα υλικά. (“What is the First Article Inspection and how to prepare for it?”, 2024)

Με τον τρόπο αυτόν, η FAI παρέχει εμπιστοσύνη ότι οι διαδικασίες υλοποίησης του προϊόντος είναι ικανές να παράγουν συμμορφούμενο προϊόν, ενώ δείχνει ότι οι κατασκευαστές και οι μεταποιητές του προϊόντος κατανοούν τις σχετικές απαιτήσεις βελτιώνοντας την ποιότητα, την παράδοση και την ικανοποίηση των πελατών. Παράλληλα, παρέχει αντικειμενικά στοιχεία της ικανότητας της διαδικασίας και μειώνει τους πιθανούς κινδύνους που σχετίζονται με την εκκίνηση της παραγωγής ή/και τις αλλαγές στην διαδικασία. Ταυτόχρονα, μειώνει το κόστος και τις καθυστερήσεις παραγωγής που σχετίζονται με μη συμμορφώσεις προϊόντων, ενώ προσδιορίζει μη ικανές διαδικασίες υλοποίησης παραγωγής και επικυρώνει τυχόν διορθωτικές ενέργειες. (Rusu, Soare, Botan, Dragomirescu & Militaru, 2019)

Η επιθεώρηση του πρωτότυπου προϊόντος δεν εγγυάται παραγωγή χωρίς ελαττώματα. Η αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας της διαδικασίας ή της επιλογής εργαλείων για κάθε διαδικασία είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής μίας FAI. Ωστόσο, η FAI μπορεί να εκπληρώσει την απαίτηση επικύρωσης διαδικασίας για ένα σύστημα διαχείρισης ποιότητας, όπως το ISO9001 ή το AS9100. Συγκεκριμένα, η FAI επαληθεύει ότι ο σχεδιασμός, οι οδηγίες εργασίας, τα συστήματα παραγωγής και οι έλεγχοι, τα εργαλεία, ο εξοπλισμός επιθεώρησης/δοκιμής, το λογισμικό δοκιμής επιθεώρησης ή οι συγκριτικές αναφορές όπως το υλικό δοκιμής (όπου ισχύει) και το επίπεδο επάρκειας προσωπικού, θα παρέχουν ένα αποδεκτό προϊόν που συμμορφώνεται με τις ισχύουσες απαιτήσεις των σχεδίων / προδιαγραφών, πριν από την χρήση τους στην παραγωγή / εγκατάσταση / επιθεώρηση ή συντήρηση. (“FAI-First Article Inspection Requirements”, 2024)

Αξίζει επίσης να επισημανθεί ότι μπορεί να χρειαστούν πρόσθετες επιθεωρήσεις του πρωτότυπου απαρτίου εάν η αρχική αποκαλύψει κάτι που δεν είναι 100% συμβατό με το σχέδιο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα χρειαστούν διορθωτικά μέτρα, να πραγματοποιηθεί εν συνεχεία άλλη μία σειρά παραγωγής και να πραγματοποιηθεί εκ νέου FAI.

4.2. Πότε χρειάζεται ένα First Article Inspection

Υπάρχουν δύο τύποι διαδικασιών FAI: Η ολοκληρωμένη και η μερική. Η ολοκληρωμένη FAI απαιτείται για:

- Νέα ανταλλακτικά
- Νέους προμηθευτές ή εγκαταστάσεις
- Αλλαγή σε εργαλεία/μηχανήματα, εξοπλισμό δοκιμής, εξαρτήματα μέτρησης ή ευθυγράμμισης, δεξαμενές ή εξοπλισμό επεξεργασίας, εγκαταστάσεις μηχανημάτων
- Όταν το εργαλείο που απαιτείται για την κατασκευή χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ή ενεργοποιείται ξανά μετά από μεγάλη περίοδο αποθήκευσης ή εάν το εξάρτημα δεν έχει κατασκευαστεί για τουλάχιστον δύο χρόνια.
- Στην περίπτωση της “αντίστροφης μηχανικής” (Reverse engineering), δηλαδή στην διαδικασία ανάλυσης και κατανόησης του σχεδιασμού, της δομής και της λειτουργικότητας ενός προϊόντος ή συστήματος με την εργασία προς τα πίσω από την τελική του μορφή και τέλος,
- Εάν το ζητήσει ο πελάτης. (“HAI-First Article Inspection Requirements”, 2024)

Ενώ μερική επιθεώρηση πρώτου προϊόντος - μερικές φορές ονομάζεται Delta FAI - απαιτείται εάν υπάρχουν αλλαγές στον σχεδιασμό ή την διαδικασία παραγωγής του εξαρτήματος, συμπεριλαμβανομένων νέων υλικών, εργαλείων, μηχανών ή οτιδήποτε άλλο που θα μπορούσε να επηρεάσει την εφαρμογή, την μορφή ή την λειτουργία του. Έτσι, κάθε φορά που είτε πρόκειται να ξεκινήσει η παραγωγή ενός νέου ανταλλακτικού, είτε αλλάζει κάτι στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζεται ή κατασκευάζεται ένα υπάρχον ανταλλακτικό, θα πρέπει να γίνει μία πρώτη επιθεώρηση προϊόντος. (Wright, 2023)

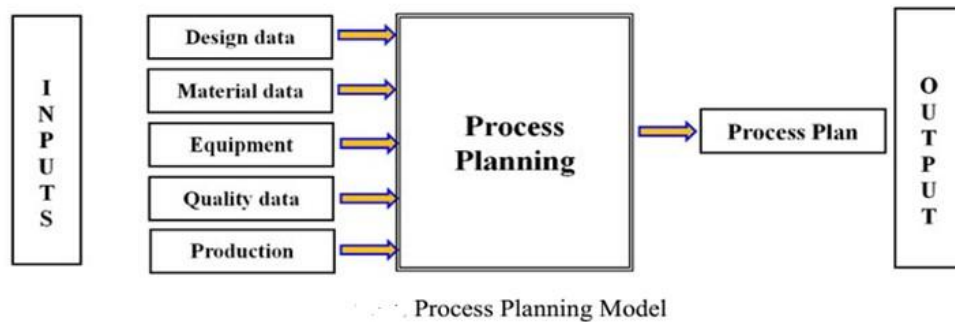
4.3. Σχεδιασμός διαδικασίας πρωτότυπου απαρτίου

Η παραγωγή αναφέρεται στην μετατροπή των εισροών σε τελικά προϊόντα/ ή στην δημιουργία υπηρεσιών για την ικανοποίηση των αναγκών του πελάτη. Περιλαμβάνει την

εφαρμογή διαδικασιών με τις οποίες οι εισροές μπορούν να μετατραπούν σε επιθυμητό προϊόν (εκροή) δυνητικής χρησιμότητας, βελτιώνοντας παράλληλα τις ιδιότητες και προσθέτοντας οικονομικές αξίες μέσω της καλύτερης μεθόδου χωρίς συμβιβασμούς στην ποιότητα.

Αποτελεί μία πολύ περίπλοκη διαδικασία με μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων και λειτουργιών που πρέπει να προγραμματιστούν κατάλληλα και με την σειρά τους να ελέγχονται για την αποτελεσματική παραγωγή του προϊόντος. Ο κύριος σκοπός του σχεδιασμού και ελέγχου παραγωγής είναι να καθιερώσει διαδρομές και χρονοδιαγράμματα για τις εργασίες που θα διασφαλίζουν την βέλτιστη χρήση των υλικών, των εργαζομένων και των μηχανών και θα παρέχουν τα μέσα για την διασφάλιση της λειτουργίας της παραγόμενης μονάδας / απαρτίου σύμφωνα με αυτά τα σχέδια. Στην αεροδιαστημική βιομηχανία υιοθετείται το πλάνο εργασίας για όλες τις δραστηριότητες κατασκευής πρωτοτύπων σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πελάτη. Το αρμόδιο τμήμα για την έκδοση του πλάνου εργασιών είναι το Planning το οποίο ακολουθεί το μοντέλο σχεδιασμού διαδικασίας (όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1.).

Τα στοιχεία από τον πελάτη είναι με την μορφή Αίτησης RFQ (Request For Quotation) μαζί με ευανάγνωστα, εγκεκριμένα και ελεγχόμενα μηχανολογικά σχέδια και λίστα με τις πρώτες ύλες/εξαρτήματα (Parts List) κατά περίπτωση. Μόλις ληφθούν τα απαραίτητα στοιχεία, η ομάδα διεργασίας (Planning, Production, Quality Assurance, Quality Control), πραγματοποιεί μελέτη σχετικά με την σκοπιμότητα υλοποίησης του απαρτίου (capacity και capability) αναφορικά με τους διαθέσιμους πόρους δηλαδή προσωπικό, μηχανές CNC (Computer Numerical Control), εργαλεία, ειδικά εξαρτήματα, υλικά κ.λπ. ενώ ζητούνται διευκρινίσεις από τον πελάτη εάν χρειαστεί. Αφού πραγματοποιηθεί η μελέτη σκοπιμότητας, ακολουθεί ο σχεδιασμός της διαδικασίας. (Subramanya, Kumar, Yadav & Venkatesh, 2022)



Εικόνα 4.1. Μοντέλο Σχεδιασμού Διαδικασίας (Subramanya et al, 2022)

4.4. CNC (Computer Numerical Control) μηχανές

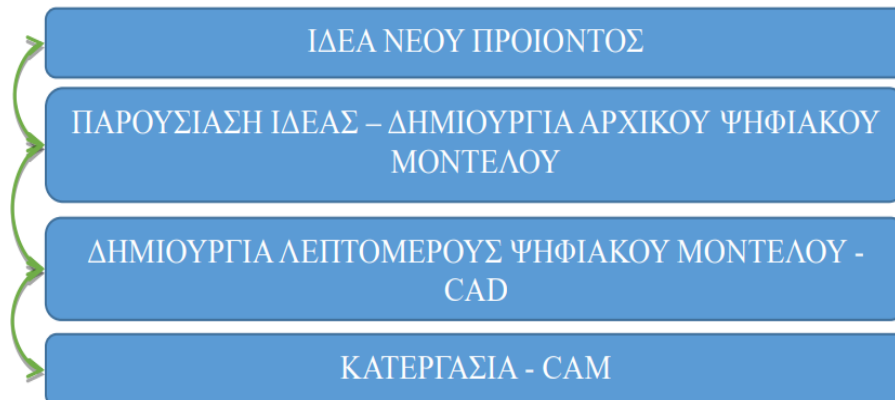
Οι CNC (Computer Numerical Control) μηχανές αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της τεχνολογίας κατεργασίας υλικών και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης και της αεροπορικής βιομηχανίας. Αυτές οι μηχανές λειτουργούν με την χρήση υπολογιστή για τον έλεγχο των κινήσεων των εργαλείων, επιτρέποντας την αυτοματοποίηση και την υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα στην κατεργασία των υλικών.

Οι CNC μηχανές αποτελούνται από δύο βασικά τμήματα, το υλικό και λογισμικό του ελεγκτή (controller) και την ίδια την εργαλειομηχανή. Ο ελεγκτής είναι ένας Η/Υ ο οποίος εκτελεί τις εντολές για τις οποίες έχει προγραμματιστεί, υπολογίζει τις ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν, ενώ ελέγχει και οδηγεί τους μηχανισμούς κίνησης του εργαλείου ούτως ώστε η μηχανή να βρίσκεται κάτω από συνολικό έλεγχο. Είναι επίσης εφοδιασμένος με οθόνη, η οποία αποτελεί και το κύριο μέσο επικοινωνίας ανάμεσα στον εργαζόμενο και την εργαλειομηχανή και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των διαφόρων προγραμμάτων, το ξεκίνημα και τον έλεγχο της προόδου του μηχανήματος που κατεργάζεται το υλικό. Η εισαγωγή του προγράμματος πραγματοποιείται με έναν οδηγό-USB, ενώ ταυτόχρονα ο υπολογιστής συνδέεται απευθείας με άλλους υπολογιστές διαμέσου του τοπικού δικτύου.

Οι ελεγκτές του αριθμητικού ελέγχου χρησιμοποιούν συνήθως το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων των τριών αξόνων που τέμνονται σε ορθή γωνία για να προσδιορίζουν τις διαστάσεις των κατεργαζόμενων υλικών, εργαλείων και άλλων εξαρτημάτων στον χώρο εργασίας της εργαλειομηχανής. Μία μηχανή CNC έχει τουλάχιστον τρεις άξονες κίνησης των μέσων κατεργασίας, τους X και Y για την οριζόντια κίνηση και τον Z για την κατακόρυφη κίνηση. Ωστόσο, μπορεί να έχει και άλλους, όπως τους άξονες A, B, και Γ ως άξονες

περιστροφής γύρω από τους X, Y και Z. Οι κινήσεις και οι διάφορες βοηθητικές εργασίες καθορίζονται με ένα συνδυασμό “λέξεων” σε γραμμές κώδικα, με την μορφή αλφαβητικού χαρακτήρα ακολουθούμενο από αριθμό. (“Περί του CNC”, 2024)

Τα στάδια της μελέτης στα οποία συμβάλλουν τα συστήματα CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) για τις CNC μηχανές φαίνονται στην εικόνα 4.2.:



Εικόνα 4.2. Στάδια σχεδίου μελέτης στα οποία συμβάλλουν τα συστήματα CAD/CAM (Αβραμούλη κ.α., 2015)

Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής, υπάρχουν διάφοροι τύποι CNC μηχανών, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων, τα οποία έχει και η Ε.Α.Β. στα εργοστάσιά της:

- **CNC κάθετοι και οριζόντιοι τόρνοι:** Χρησιμοποιούνται για την περιστροφική κατεργασία υλικών, όπως το μέταλλο, για την δημιουργία διαφόρων τύπων αντικειμένων όπως άξονες, βίδες, και άλλα εξαρτήματα.
- **CNC Κέντρα Επεξεργασίας (milling):** Χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση υλικού από τα προϊόντα με την χρήση διαφόρων εργαλείων κοπής, όπως μύτες, κοπίδια, και τρυπάνια.
- **CNC Φρέζες:** Χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση υλικού με ροπή για την δημιουργία επίπεδων επιφανειών ή προφίλ.
- **CNC Drilling:** Χρησιμοποιούν ένα εξειδικευμένο εργαλείο κοπής (τρυπάνι). Είναι ιδανικά για διάνοιξη οπών σε υλικά που συγκρατούν βίδες, για αισθητικές απαιτήσεις ή δευτερεύοντες σκοπούς συναρμολόγησης.

- **CNC Grinding (ρεκτιφιέ):** Χρησιμοποιούν έναν τροχό λείανσης για την αφαίρεση υλικών από ένα τεμάχιο εργασίας κυρίως για λόγους τριψίματος, γυαλίσματος ή φινιρίσματος. (“Types Of CNC Machines & Their Categories Explained”, 2023)
- **CNC 3-αξονικές μηχανές:** Κινούνται στον συμβατικό άξονα X και Y, με έναν επιπλέον άξονα Z για βάθος.
- **CNC 5-αξονικές μηχανές:** Παρέχουν στο εργαλείο κοπής μία περιστροφική κίνηση κατά μήκος ενός άξονα που ονομάζεται άξονας C. Μπορούν να επεξεργαστούν πέντε επιφάνειες υλικού ταυτόχρονα με την επιφάνεια εργασίας να παραμένει ακίνητη, γεγονός που τους επιτρέπει να παράγουν περίπλοκα και ακριβή εξαρτήματα.
- **CNC Welding (συγκόλλησης):** Χρησιμοποιούνται για συγκόλληση υλικών. (Μαρεντάκης, 2017)
- **CNC 5-αξονική μηχανή για shot peening:** Χρησιμοποιείται για επιφανειακή σκλήρυνση του υλικού.

4.5.Tooling

Το Tooling αποτελεί έναν ευρύ όρο, και περιγράφει την διαδικασία σχεδιασμού και μηχανικής των εργαλείων που απαιτούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων (sub-assemblies) ή συναρμολόγησης (assemblies). Η κατασκευή εργαλείων είναι κρίσιμης σημασίας προκειμένου η εφαρμοζόμενη μηχανική να είναι επιτυχής και περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς τύπους: καλούπια, εργαλεία συγκράτησης, εργαλεία κοπής για φρεζάρισμα, τόννευση και λείανση, μήτρες διάτρησης για μηχανές ψυχρής διαμόρφωσης, σφυρηλάτησης, εξώθησης και πρεσαρίσματος, εξαρτήματα συγκόλλησης λαμαρίνας και εξαρτήματα επιθεώρησης.

Κάθε πτυχή ενός έτοιμου εξαρτήματος βασίζεται στην ακρίβεια των εργαλείων – από την ποιότητα και τις ιδιότητες, έως τις συνθήκες διεργασίας, όπως η επαναληψιμότητα της κατασκευής. Ωστόσο, η κατασκευή εργαλείων υψηλής ποιότητας – ειδικά για μηχανές CNC υψηλής ταχύτητας, πολλαπλών αξόνων και συστημάτων ψυχρής διαμόρφωσης – είναι πολύπλοκη και απαιτητική. Το λογισμικό σχεδιασμού και μοντελοποίησης με την βοήθεια υπολογιστή μπορεί να βοηθήσει την διαδικασία, αλλά δεν αντικαθιστά την διορατικότητα των έμπειρων κατασκευαστών εργαλείων και καλουπιών.

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός εργαλείων απαιτεί βαθιά κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν κατά την παραγωγική διαδικασία, ενώ επηρεάζουν άμεσα την σχεδίαση, τον τύπο των υλικών και την ίδια την κατασκευή, καθώς και πιθανές τροποποιήσεις στα κριτήρια επεξεργασίας.

Ο στόχος είναι να κατασκευάζονται τελικά εξαρτήματα που πληρούν την απαιτούμενη ποιότητα και προδιαγραφές – στους όγκους και τους χρόνους παράδοσης που απαιτούνται από τον πελάτη, με ανταγωνιστικό κόστος. Οι σχεδιαστές πρέπει να λάβουν υπ’όψιν μία σειρά παραγόντων, όπως:

- Ανοχές στο τελικό μέρος, που θα επηρεάσουν την διαμόρφωση του εργαλείου.
- Μηχανική αντοχή και ακαμψία του εργαλείου, η οποία είναι απαραίτητη για την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα και την ποιότητα του τεμαχίου εργασίας.
- Αντοχή κοπτικού εργαλείου, η οποία πρέπει να αντέχει σε υψηλές δυνάμεις μηχανικής κατεργασίας, ειδικά σε παραγωγή μεγάλου όγκου.
- Αδύναμοι σύνδεσμοι, για αντίσταση στην φθορά και αποφυγή ζημιών στα υπόλοιπα συνεργαζόμενα εργαλεία.
- Ταχύτητα, τροφοδοσία και μέγεθος εργαλειομηχανών, που καθορίζουν τις ιδιότητες κάθε σετ εργαλείων. (Tyrrell, 2017)

Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, πριν την κατασκευή ενός First Article Prototype (FAP) και αν κριθεί απαραίτητο λόγω κρισιμότητας και δυσκολίας στην κατασκευή του απαρτίου, ο πελάτης εκδίδει μία Εντολή Αγοράς –Purchase Order (P.O.) όπου δίνει εντολή στην Ε.Α.Β. να κατασκευάσει ένα εργαλείο (tool) για συγκεκριμένο part number απαρτίου. Η κατασκευή γίνεται βάσει συγκεκριμένου σχεδίου, προδιαγραφών και οδηγιών οι οποίες περιέχονται στο Subcontract Source Book του πελάτη. Μόλις κατασκευαστεί στο μηχανουργείο της εταιρείας, οι επιθεωρητές ποιότητας πραγματοποιούν διαστατικό έλεγχο. Το μήκος του εργαλείου συνήθως ελέγχεται με mylar (αδιάστατο μηχανολογικό σχέδιο σε κλίμακα 1:1) ενώ οι υπόλοιπες διαστάσεις μετρούνται με την βοήθεια μετρητικής μηχανής (CMM).

Στην συνέχεια, εκδίδεται μία Certified Property List(C.P.L.) όπου ο πελάτης αγοράζει το εργαλείο και πλέον είναι πιστοποιημένο και έτοιμο προς χρήση για την κατασκευή του απαρτίου.

Ταυτόχρονα, και όπου απαιτείται, ο πελάτης προμηθεύει το τμήμα ποιοτικού-διαστατικού ελέγχου με εργαλεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα στην επιθεώρηση των παραγωγικών εξαρτημάτων. (Checking form tools, inspection tools, master tools).

4.6. Διακρίβωση-Βαθμονόμηση Εργαλείων και Οργάνων Μέτρησης

Οι αεροδιαστημικές βιομηχανίες εξαρτώνται από πολύ υψηλά επίπεδα εμπιστοσύνης και ακεραιότητας μετρήσεων για την διασφάλιση της ποιότητας, της ασφάλειας και της απόδοσης των συστημάτων και των αεροσκαφών. Η βαθμονόμηση και η διασφάλιση ποιότητας είναι ζωτικής σημασίας για την συμμόρφωση με τους κανονισμούς που χρησιμεύουν για την διατήρηση των απαραίτητων προτύπων που ελαχιστοποιούν τους κινδύνους δαπανηρών αστοχιών.

Για τον λόγο αυτόν, πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος και βαθμονόμηση του εξοπλισμού, των οργάνων και των εργαλείων δοκιμής που χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση ενός αεροσκάφους ή ενός εξαρτήματος. Σκοπός αυτού, είναι να διασφαλιστεί η ακρίβεια, η ασφάλεια και η συμμόρφωση με τα βιομηχανικά πρότυπα και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Τα προγράμματα βαθμονόμησης είναι απαραίτητα για την παροχή μετρολογικής ιχνηλασιμότητας και της διασφάλισης ποιότητας.

Η Ε.Α.Β. διαθέτει εργαστήριο διακρίβωσης εξοπλισμού μετρήσεων ακριβείας (Precision Measurement Equipment Laboratory-PMEL) το οποίο είναι υπεύθυνο για οποιαδήποτε εργαλείο, όργανο ή συσκευή το οποίο χρήζει διακρίβωσης. Το εργαστήριο διαθέτει ένα τεκμηριωμένο, αποτελεσματικό και οικονομικό σύστημα διαχείρισης ποιότητας, το οποίο διασφαλίζει ότι όλες οι υπηρεσίες βαθμονόμησης που παρέχονται συμμορφώνονται με τις συμβατικές απαιτήσεις, τους ισχύοντες Κανονισμούς και το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025. Το εργαστήριο της ΕΑΒ είναι πιστοποιημένο για τις παρακάτω διακριβώσεις :

Ηλεκτρικές μετρήσεις

- Αντιστάσεις (Αντιστάτες)
- Εκτροπείς ρεύματος
- Ηλεκτρικές σε Μετρητικά Όργανα Αντίστασης
- Μετρητικά όργανα αντίστασης
- Μετρητικά Όργανα Εναλλασσόμενης Τάσης (AC-DC)

- Μετρητικά Όργανα Συνεχούς Τάσης (DC), Βαθμονομητήρες Εναλλασσόμενης Τάσης (AC)

Διαστασιακές μετρήσεις

- Αναλογικά παχύμετρα
- Εξωτερικά αναλογικά μικρόμετρα
- Πρότυπα Πλακίδια ορθογωνικής διατομής
- Ψηφιακά παχύμετρα (ref ΕΣΥΔ)

Ένα ηλεκτρονικό σύστημα ανάκλησης διασφαλίζει ότι οι βαθμονομήσεις του PME (Precision Measurement Equipment) και των Προτύπων εκτελούνται εντός των καθορισμένων χρονικών διαστημάτων.

Η αναφορά, τα πρότυπα εργασίας και τα PME που χρησιμοποιούνται στην Ε.Α.Β. επισημαίνονται για να υποδεικνύουν τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Ημερομηνία της τελευταίας βαθμονόμησης.
- Όνομα ή σφραγίδα του τεχνικού που πραγματοποίησε την βαθμονόμηση.
- Ημερομηνία λήξης της επόμενης βαθμονόμησης.
- Τυχόν περιορισμοί βαθμονόμησης ή περιορισμοί στην χρήση.
- Μοναδικό I.D. number.

Μετά την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης ενός προτύπου ή PME, μία ειδική κόλλα κατά της δολιοφθοράς (anti-sabotage lacquer) τοποθετείται σε τέτοια θέση, ώστε η πρόσβαση στην ρύθμιση βαθμονόμησης ή οι ίδιες οι ρυθμίσεις να είναι απαραβίαστες. (“HAI-Calibration System Description”, 2023)

4.7. Έκδοση πλάνου εργασίας (Instruction Sheet)

Το πλάνο εργασίας αποτελεί ένα λεπτομερές έγγραφο δρομολόγησης των εργασιών που ονομάζεται Instruction Sheet και περιέχει λεπτομερείς οδηγίες σχετικά με διάφορες διαδικασίες, εργασίες ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία που είναι απαραίτητη για τους εργαζομένους στην αεροπορική βιομηχανία. Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπ’ όψιν η σαφήνεια, η συνοχή και η ακρίβεια στην δημιουργία ενός Instruction Sheet στην αεροπορική βιομηχανία, καθώς η ακρίβεια και η συμμόρφωση με τις διαδικασίες και τα πρότυπα

ασφαλείας είναι κρίσιμα για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των εργασιών. Αυτή η οδηγία μπορεί να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τίτλος και Αριθμός Έκδοσης: Ένας καθορισμένος τίτλος και ο αριθμός έκδοσης της οδηγίας για την ευκολότερη αναγνώριση και αναφορά.
- Πεδίο Εφαρμογής: Μια λίστα με τις συγκεκριμένες διαδικασίες ή εργασίες για τις οποίες ισχύει η οδηγία.
- Σκοπός: Μια σύντομη επεξήγηση γιατί δημιουργήθηκε η οδηγία και ποιος είναι ο στόχος της.
- Οδηγίες Εκτέλεσης: Αναλυτικές οδηγίες για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών ή διαδικασιών από τα τμήματα παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου. Αυτές οι οδηγίες μπορεί να περιλαμβάνουν βήματα, προειδοποιήσεις ασφαλείας, προϋποθέσεις, εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, κρίσιμες διαστάσεις κ.λπ.
- Πίνακας Περιεχομένων: Ένας πίνακας που δείχνει τις κύριες ενότητες ή τις σημαντικές πληροφορίες που περιέχονται στην οδηγία, μαζί με τις αντίστοιχες σελίδες.
- Συντήρηση και Ενημέρωση: Πληροφορίες σχετικά με τη συντήρηση και την ενημέρωση της οδηγίας, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών αναθεώρησης και ενημέρωσης.
- Αναφορές: Οποιοσδήποτε πρόσθετες πηγές πληροφοριών ή αναφορές που θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες για την καλύτερη κατανόηση ή εφαρμογή της οδηγίας.
- Υπογραφές-Σφραγίδες Έγκρισης: Υπογραφές από εκπροσώπους των αντίστοιχων τμημάτων ή επιπέδων εγκρίσεων για επιβεβαίωση της καταλληλότητας και ακεραιότητας της οδηγίας, καθώς και της εφαρμογής των εργασιών που περιλαμβάνονται σε αυτήν.

Οι αριθμοί λειτουργίας για τα διαδοχικά βήματα επεξεργασίας στο φύλλο εργασιών πρέπει να παρατίθενται ως 10, 20, 30, κ.λπ. Αυτό επιτρέπει να εισάγεται εύκολα εάν χρειαστεί η δημιουργία νέων λειτουργιών. Επί πλέον, μία νέα λειτουργία και ο αντίστοιχος αριθμός πρέπει να καθορίζεται όταν μία εργασία φεύγει από έναν σταθμό εργασίας και μεταφέρεται σε έναν άλλο. Το ίδιο ισχύει και εάν υπάρχει ένα εξάρτημα το οποίο μεταφέρεται σε άλλη θήκη εργασίας ακόμα κι αν είναι στην ίδια εργαλειομηχανή. (Tarba, Tonoiu, Tiriplica, & Ghionea, 2015).

Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία έχει δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων για τα First Article Prototypes, η οποία περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία όσον αφορά τα part numbers και περιλαμβάνει στοιχεία όπως, περιγραφή, υλικά, ειδικές διεργασίες, θερμικές

διεργασίες, προδιαγραφές υλικού, μη καταστροφικοί έλεγχοι (επιθεώρηση με φθορίζοντα διεισδυτικά υγρά ή με μαγνητικά σωματίδια), προδιαγραφές και τι είδους βαφή απαιτείται, μηχανές ή εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανά περίπτωση.

Μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της διαδικασίας, το φύλλο εργασιών, το σχέδιο και το υλικό δρομολογούνται για τις δραστηριότητες κατασκευής μέσω των διαφόρων τμημάτων/κέντρων εργασίας της παραγωγής και του ποιοτικού ελέγχου.

4.8. Προμήθεια και έλεγχος πρώτης ύλης και χημικών από εγκεκριμένους προμηθευτές

Ο έλεγχος του υλικού και των χημικών από εγκεκριμένους προμηθευτές αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την αεροπορική βιομηχανία, ιδιαίτερα κατά την κατασκευή πρωτότυπων (First Article Prototypes) προϊόντων. Λαμβάνονται οι ακόλουθες δράσεις προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ασφάλεια των υλικών και των χημικών που παρέχονται από τους προμηθευτές:

- **Αξιολόγηση του Προμηθευτή:**

Ανάλυση του ιστορικού του προμηθευτή σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων και την αξιοπιστία των υπηρεσιών του.

Έλεγχοι ποιότητας του προμηθευτή, όπως πιστοποιήσεις ποιότητας και συμμόρφωσης με πρότυπα.

- **Καθορισμός Προδιαγραφών Υλικού/Χημικών:**

Καθορισμός των απαιτήσεων για τα υλικά και τα χημικά που θα χρησιμοποιηθούν στο πρωτότυπο προϊόν.

Προσδιορισμός των απαιτήσεων ποιότητας, αντοχής, αντίστασης σε υψηλές θερμοκρασίες και άλλες τεχνικές παράμετροι.

- **Δειγματοληψία και Δοκιμές:**

Πραγματοποίηση δειγματοληψίας από το υλικό ή τα χημικά που παρέχονται από τον προμηθευτή.

- **Εκτέλεση δοκιμών:**

Με τον τρόπο αυτόν επιβεβαιώνεται η συμμόρφωση προς τις προδιαγραφές και τις τεχνικές απαιτήσεις. Το υλικό υπόκειται σε διάφορες δοκιμές, όπως μηχανικές δοκιμές, δοκιμές αντοχής σε διαφορετικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, πίεση), έλεγχος αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων, κ.λπ.

- **Παρακολούθηση της Ποιότητας:**

Θέσπιση διαδικασιών παρακολούθησης ποιότητας για τον έλεγχο του υλικού και των χημικών κατά την διάρκεια της παραγωγής.

- **Επιθεώρηση των εργαστηρίων ή των εγκαταστάσεων του προμηθευτή για την διασφάλιση συμμόρφωσης με πρότυπα ποιότητας.**

- **Επικοινωνία με τον Προμηθευτή:**

Επικοινωνία με τον προμηθευτή για την επίλυση οποιονδήποτε προβλημάτων που προκύπτουν κατά την διάρκεια της διαδικασίας ελέγχου ή παραγωγής.

- **Καθορισμός μέτρων δράσης σε περίπτωση παρατυπιών ή ανωμαλιών.**

- **Έγγραφα - Αποδεικτικά Υλικού/Χημικών - Πιστοποίηση:**

Αφού το υλικό περάσει όλες τις απαιτούμενες δοκιμές και επαληθευτεί η συμμόρφωσή του προς τις προδιαγραφές, λαμβάνεται η πιστοποίηση υλικού. Η προμηθευτρια εταιρεία παρέχει την τεκμηρίωση για το υλικό, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών κατασκευής, δοκιμών και πιστοποίησης. Αναφορές ή έγγραφα (COC-Certification Of Conformance) πιστοποιούν την ποιότητα και την συμμόρφωση του υλικού ή των χημικών, μαζί με την εντολή αγοράς.

- **Αναθεώρηση:**

Οι διαδικασίες επαλήθευσης υλικού αναθεωρούνται και βελτιώνονται συνεχώς με βάση την εμπειρία και την εμφάνιση νέων τεχνολογιών. (“HAI-Evaluation of Suppliers”,2023)

4.9. Παραλαβή υλικών-χημικών στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία

Κατά την παραλαβή, όλες οι συσκευασίες φέρουν σφραγίδα με την ημερομηνία παραλαβής. Όλα τα υλικά, εξαρτήματα, χημικά και άλλες προμήθειες που λαμβάνονται υπόκεινται σε παραλαβή-επιθεώρηση. Η επιθεώρηση παραλαβής πραγματοποιείται είτε από το τμήμα Διαχείρισης Ποιότητας ή από το Τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου Εγκαταστάσεων. Ο παραλήπτης αναγνωρίζει τα είδη μέσω του δελτίου συσκευασίας και επιβεβαιώνει τον προμηθευτή, την

αγορά-παραγγελία, τον κωδικό του υλικού/χημικού, την ποσότητα, την ημερομηνία λήξης και την παρτίδα.

Τα εμπορεύματα εξετάζονται οπτικά για τυχόν σημάδια ζημιάς ή ορατά προβλήματα ποιότητας. Οποιαδήποτε τεκμηρίωση παραδίδεται με το προϊόν (δηλαδή πιστοποίηση υλικού, πιστοποιητικό συμμόρφωσης κ.λπ.) και επανεξετάζεται. Εάν όλοι οι έλεγχοι και οι επιθεωρήσεις είναι ικανοποιητικές, η παράδοση γίνεται αποδεκτή, σε διαφορετική περίπτωση ο παραλήπτης μπορεί να αρνηθεί την αποδοχή ή να σημειώσει την ζημιά στο δελτίο συσκευασίας.

Στη συνέχεια, τα αγαθά παραλαμβάνονται στο σύστημα ERP. Το δελτίο συσκευασίας φέρει σφραγίδα RECEIVED μαζί με την ημερομηνία παραλαβής και μονογράφεται από τον παραλήπτη. Η παραλαβή ενός αντικειμένου στο σύστημα ERP παρέχει ένα αρχείο λήψης και επιθεώρησης. Δελτία συσκευασίας, ποιοτικά έγγραφα και τα Πιστοποιητικά Συμμόρφωσης που λαμβάνονται με τα προϊόντα σαρώνονται και ηλεκτρονικά. Τα στοιχεία επισημαίνονται με μια ετικέτα λήψης, που συνήθως δημιουργείται από το σύστημα ERP (περιλαμβάνει τον αριθμό ανταλλακτικού, την ποσότητα, τον αριθμό PO και την ημερομηνία παραλαβής) και τοποθετείται στην κατάλληλη θέση αποθέματος.

Μεμονωμένα αντικείμενα ενδέχεται να υποβληθούν σε δραστηριότητες επιθεώρησης εισερχόμενης διασφάλισης ποιότητας λόγω κακού παρελθόντος, δηλαδή ιστορικό μη συμμόρφωσης, λόγω απαίτησης πελάτη, λόγω της κρίσιμης φύσης ενός εξαρτήματος, ή λόγω του ότι το εξάρτημα είναι ελεγχόμενο είδος για το οποίο η συμμόρφωση δεν μπορεί να επαληθευτεί μετά την κατασκευή. (“HAI Receiving Inspection”, 2024)

4.10. Επαλήθευση χημικών/υλικού/πρώτης ύλης

Για την επαλήθευση υλικού στην αεροναυπηγική βιομηχανία, συνήθως χρησιμοποιούνται αυστηρές διαδικασίες δοκιμών και επιβεβαίωσης για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με πρότυπα ασφάλειας και απόδοσης. Εδώ είναι μερικές συνήθειες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση υλικών:

- **Πιστοποίηση Υλικού:**

Οι προμηθευτές παρέχουν έγγραφα πιστοποίησης υλικού για την σύνθεση, τις ιδιότητες και τα αποτελέσματα δοκιμών των υλικών. Αυτές οι πιστοποιήσεις εκδίδονται συνήθως από

πιστοποιημένα εργαστήρια και είναι κρίσιμες για την επιβεβαίωση της αυθεντικότητας και της ποιότητας των υλικών.

- **Μη Καταστροφικές Δοκιμές (NDT)-Μη καταστροφική Επιθεώρηση (NDI):**

Οι μέθοδοι μη καταστροφικών δοκιμών/επιθεωρήσεων, όπως οι υπερήχοι, οι ακτίνες γ, δοκιμές με μαγνητικά σωματίδια και οι διεισδυτικές δοκιμές με βάψιμο, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ελλείψεων, διακοπτόμενων και ιδιοτήτων υλικού χωρίς να προκαλούν ζημιά στο υλικό. Αυτές οι τεχνικές βοηθούν στη διασφάλιση της ακεραιότητας και της ποιότητας των αεροναυπηγικών υλικών.(Βουλγαράκη, 2016)

- **Χημική Ανάλυση:**

Οι χημικές μέθοδοι ανάλυσης, όπως η φασματοσκοπία και η χρωματογραφία, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της στοιχειώδους σύνθεσης και της καθαρότητας των υλικών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την επαλήθευση της σύνθεσης των κραμάτων και την εξασφάλιση ότι πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις.

- **Μηχανικές Δοκιμές:**

Οι μηχανικές δοκιμές περιλαμβάνουν την υποβολή των υλικών σε διάφορες μηχανικές δυνάμεις για την αξιολόγηση της αντοχής, της σκληρότητας, της αγωγιμότητας, της αντοχής και άλλων μηχανικών ιδιοτήτων τους. Οι συνήθεις μηχανικές δοκιμές περιλαμβάνουν την δοκιμή έλξης, την δοκιμή σκληρότητας-αγωγιμότητας, την δοκιμή κρούσης και την δοκιμή κόπωσης.

- **Μικροσκοπική Εξέταση:**

Οι μικροσκοπικές τεχνικές εξέτασης, όπως η σάρωση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της μικροδομής των υλικών σε μικροσκοπικό επίπεδο. Αυτό βοηθά στην αναγνώριση ελλείψεων, δομής κόκκου και άλλων χαρακτηριστικών που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του υλικού.(Nasrazadani & Hassani, 2016)

- **Δοκιμές Διάβρωσης:**

Οι δοκιμές διάβρωσης αξιολογούν την ευαισθησία των υλικών στην διάβρωση σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως η υγρασία και η χημική έκθεση. Αυτό είναι σημαντικό για την εξασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανθεκτικότητας και αξιοπιστίας των υλικών που χρησιμοποιούνται στις αεροναυπηγικές εφαρμογές.

- **Έλεγχος χημικών κατά την παραλαβή (Receiving tests)**

Τα τεστ αυτά αναφέρονται στις δοκιμές που πραγματοποιούνται κατά την παραλαβή νέων παρτίδων ή παραδόσεων χημικών υλικών και έχουν ως στόχο την επιβεβαίωση της ποιότητας, της συμμόρφωσης προς τις προδιαγραφές και την ασφάλεια των χημικών υλικών πριν αυτά χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του FAP και εν συνεχεία στα παραγωγικά κομμάτια. Οι βασικές δοκιμές που πραγματοποιούνται στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία είναι οι εξής:

- **Οπτικός Έλεγχος (Surface appearance test):**

Επισκόπηση της εξωτερικής εμφάνισης του υλικού και της συσκευασίας του, για ενδεχόμενες φθορές, ρωγμές ή άλλες ατέλειες.

- **Έλεγχος του δοχείου/συσκευασίας (pot life):**

Το "pot life" είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά στη βιομηχανία εποξειδικών υλικών και αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μετά το οποίο μία μίξη χημικών υλικών θα αρχίσει να σκληραίνει ή να πήζει σε ένα δοχείο (γνωστό ως "pot") και θα γίνει μη κατάλληλη για χρήση. Στο πλαίσιο του "receiving test" για χημικά στην αεροπορική βιομηχανία, το "pot life" μπορεί να είναι ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης για την ποιότητα και την αποδοχή των χημικών υλικών.

Κατά τη διάρκεια του "receiving test", το "pot life" μπορεί να δοκιμαστεί για να διαπιστωθεί εάν τα χημικά υλικά που παραλαμβάνονται έχουν την αναμενόμενη διάρκεια ζωής σε θερμοκρασία δωματίου ή σε οποιεσδήποτε άλλες συνθήκες χρήσης. Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά σε εφαρμογές όπου η χρήση του χημικού υλικού πρέπει να γίνει εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου μετά την ανάμιξή τους. Εάν το "pot life" είναι υπερβολικά μικρό ή δεν ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές, τα χημικά υλικά μπορεί να μην είναι κατάλληλα για χρήση και να απορριφθούν. ("Two-pack coatings-Pot life", 2014)

- **Τεστ ιξώδους (viscosity test)**

Το τεστ αυτό πραγματοποιείται για να επιβεβαιωθεί ότι το χημικό υλικό έχει την κατάλληλη τιμή ιξώδους για την εφαρμογή του στις αεροναυπηγικές διαδικασίες. Σε διαφορετική περίπτωση, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα κατά την εφαρμογή του στα αεροσκάφη, οδηγώντας σε αστοχίες ή προβλήματα ασφαλείας.

- **Dry time test**

Αυτό το τεστ αξιολογεί τον χρόνο που απαιτείται για να στεγνώσει ένα χημικό υλικό ή ένα επίστρωμα, μετά την εφαρμογή του σε μία επιφάνεια. Εάν το υλικό δεν στεγνώνει εντός ενός

αποδεκτού χρονικού πλαισίου, μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις στις διαδικασίες εργασίας, που μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένο κόστος και μειωμένη παραγωγικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές όπως η βαφή, η σφράγιση και η προστασία επιφανειών στα αεροσκάφη.

- **Adhesion test**

Αυτό το τεστ αξιολογεί την ικανότητα ενός χημικού υλικού να προσκολληθεί σε μία επιφάνεια, όπως μέταλλο ή κομμάτια αεροσκαφών, και να διατηρήσει την πρόσφυσή του με την πάροδο του χρόνου. Κατά την διενέργεια του τεστ, δοκιμάζεται η πρόσφυση του χημικού υλικού σε διάφορες επιφάνειες και συνθήκες, όπως θερμοκρασία, υγρασία και μηχανική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα βοηθούν στην αξιολόγηση της καταλληλότητας του χημικού υλικού για χρήση στην αεροπορική βιομηχανία. Εάν το υλικό δεν πετυχαίνει τις απαιτήσεις του τεστ, απορρίπτεται. (“Adhesion Testing”, 2024)

4.11. Πρώτη κοπή για το First Article Prototype

Μετά την παραλαβή των υλικών, αυτά προωθούνται στο τμήμα της Πρώτης Κοπής. Το δεύτερο operation του πλάνου εργασίας αναφέρει τις διαστάσεις της λαμαρίνας ή μπάρας ή πλάκας που πρέπει να κοπεί προκειμένου να προωθηθεί στο μηχανουργείο για την περαιτέρω επεξεργασία.

Το τμήμα Πρώτης Κοπής της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας διαθέτει τις παρακάτω μηχανές:

- **Κορδέλες:** Χρησιμοποιούνται για την κοπή πλακών καθώς και για τεμάχια από ανοξείδωτο ασάλι.
- **Πρίονι:** Για μπάρες και υλικά με στρογγυλή διατομή. (Εικόνα 4.3.)
- **Δισκοπρίονο** Για extruded κομμάτια από εξωτερικούς προμηθευτές συγκεκριμένων διαστάσεων και προφίλ. (Εικόνα 4.3.)
- **Φαλτσοπρίονο:** Για extruded κομμάτια από εξωτερικούς προμηθευτές τα οποία κόβονται σε γωνία 45 μοιρών.
- **Ψαλίδι:** Για την κοπή λεπτότερων λαμαρινών.

Αφού πραγματοποιηθεί η κοπή του κομματιού στις διαστάσεις του πλάνου, προωθείται στο μηχανουργείο ή ελασματοουργείο.



Εικόνα 4.3. Πριόνι και Δισκοπρίνο

4.12.Υλικά Αεροκατασκευών

4.12.1. Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μέταλλα στην κατασκευή των αεροσκαφών. Είναι ελαφρύ και ορισμένα από τα κράματά του έχουν μεγαλύτερες αντοχές από αυτόν του δομικού χάλυβα. Έχει υψηλή αντοχή στην διάβρωση ενώ μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί σε οποιαδήποτε μορφή και δέχεται εύκολα μεγάλη ποικιλία φινιρισμάτων επιφανειών.

Όσον αφορά τα κράματα αλουμινίου, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι που διατίθενται ανάλογα με την επεξεργασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του υλικού: σφυρήλατα και χυτά κράματα. Τα σφυρήλατα κράματα παράγονται με χύτευση συν παραμόρφωση, η οποία μπορεί να είναι με την μορφή εξώθησης, σφυρηλάτησης ή έλασης και έχουν υψηλότερη αντοχή και ανοχή σε ζημιές. Συνήθως χαρακτηρίζονται από έναν τετραψήφιο αριθμό (Πίνακας 4.1.) και μπορεί να υπάρχει ένα επιπλέον γράμμα και αριθμός, όπου το πρώτο ψηφίο υποδηλώνει το κύριο στοιχείο κράματος, το δεύτερο ψηφίο υποδεικνύει τροποποίηση των ορίων του αρχικού κράματος ή ακαθαρσιών και τα δύο τελευταία ψηφία υποδηλώνουν το συγκεκριμένο κράμα αλουμινίου.

Four Digit Series	Alloys Major Alloying Elements
1xxx series	99% Aluminum
2xxx series	Copper (most also contains Magnesium)
3xxx series	Manganese
4xxx series	Silicon
5xxx series	Magnesium
6xxx series	Magnesium and Silicon
7xxx series	Zinc (most also contains Magnesium and Copper)
8xxx series	Others including Li and Fe

Πίνακας 4.1. Σύστημα ονομασίας για τα σφυρήλατα κράματα αλουμινίου (Bhat, 2018)

Τα χυτά κράματα παράγονται με χύτευση και δεν προκαλείται παραμόρφωση στο υλικό ή στο εξάρτημα. Επομένως, τα χυτά κράματα αλουμινίου έχουν περιορισμένη αντοχή και ολκιμότητα. Το κύριο πλεονέκτημα των χυτών κραμάτων αλουμινίου είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή εξαρτημάτων περίπλοκου σχήματος που είναι δύσκολο να παραχθούν με σφυρηλάτηση. Για την ονομασία των χυτών κραμάτων αλουμινίου (Πίνακας 4.2.) χρησιμοποιείται ένα τριψήφιο σύστημα, όπου το πρώτο ψηφίο αναφέρεται στο κύριο στοιχείο κράματος, ενώ τα επόμενα δύο υποδηλώνουν μία συγκεκριμένη σύνθεση. Το μηδέν μετά την υποδιαστολή υποδηλώνει χύτευση και άλλοι αριθμοί δηλώνουν πλινθώματα.(Bhat, 2018)

Three digit series	Major alloying elements
1xx.0	99.00% minimum Al
2xx.0	Copper
3xx.0	Silicon with added Cu or Mg
4xx.0	Silicon
5xx.0	Magnesium
6xx.0	Unused
7xx.0	Zinc
8xx.0	Tin

Πίνακας 4.2. Σύστημα ονομασίας για τα χυτά κράματα αλουμινίου (Bhat, 2018)

Clad και AlClad κράματα αλουμινίου

Όταν οι επιφάνειες αλουμινίου εκτίθενται στην ατμόσφαιρα, μία λεπτή αόρατη στρώση οξειδίου σχηματίζεται αμέσως, η οποία προστατεύει το μέταλλο από περαιτέρω οξείδωση. Εάν όμως εκτεθούν σε κάποια ουσία ή κατάσταση που καταστρέφει την προστατευτική επίστρωση οξειδίου, το μέταλλο μένει απροστάτευτο από την διάβρωση. Ορισμένα κράματα είναι λιγότερο ανθεκτικά στη διάβρωση από άλλα, ιδιαίτερα ορισμένα κράματα υψηλής αντοχής. Στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιείται επένδυση των εκτεθειμένων επιφανειών με λεπτό στρώμα είτε από καθαρό αλουμίνιο είτε με ένα από τα πιο ανθεκτικά στην διάβρωση κράματα. Οι εμπορικές ονομασίες για αυτά τα “επενδεδυμένα” κράματα είναι Clad (για μερική επιφάνεια) και Alclad (για όλη την επιφάνεια). (Reithmaier & Sterkenburg, 2014)

Extrusion

Μία ευρεία γκάμα ημικατεργασμένων προϊόντων από αλουμίνιο και τα κράματά του κατασκευάζεται μέσω εξώθησης, η οποία επιτρέπει την επιλογή βέλτιστων σχημάτων ημικατεργασμένων προϊόντων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων όσο το δυνατόν πιο παρόμοια με το θεωρητικό προφίλ του τελικού εξαρτήματος. (Εικόνα 4.4.) Το αλουμίνιο είναι το πιο συχνά εξωθούμενο υλικό. Παραδείγματα προϊόντων περιλαμβάνουν προφίλ για τα ακόλουθα εξαρτήματα αεροσκάφους: Brackets, levers, fasteners, frames, liners, windowframes, rails ή cargo. (Śliwa, Pawłowska, Balawender & Zwolak, 2022)

Οι πιο συνηθισμένες εξωθήσεις αλουμινίου που χρησιμοποιούνται από κατασκευαστές αεροδιαστημικής περιλαμβάνουν:

- **AND** (Σχέδιο Στρατού Ναυτικού)
- **BAC** (Boeing Aircraft)
- **LS** (Lockheed Martin)
- **GS** (Grumman Aerospace)
- **S** (McDonnell Douglas)

Στο εργοστάσιο Αεροκατασκευών της E.A.B. χρησιμοποιούνται extrusion LS. Οι εξωθήσεις Lockheed ξεκινούν πάντα με το ίδιο πρόθεμα ("LS") και ακολουθούν τρία έως πέντε ψηφία. Οι εξωθήσεις έρχονται σε σχήμα ρολού και εξωθημένα σχήματα. Τα κράματα/ποιότητες προσδιορίζονται από τα σχέδια του σχεδιαστή. Αυτά μπορούν να κατασκευαστούν σε μία μεγάλη ποικιλία από μοναδικά σχήματα που καθορίζονται όλα από το ίδιο το σχέδιο. Τα σχήματα LS υποστηρίζουν συνήθως στρατιωτικές εφαρμογές όπως το πρόγραμμα C-130. (“What are aerospace aluminum extrusions?”, n.d.)



Εικόνα 4.4. Παραδείγματα extruded κομματιών από κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική βιομηχανία (Śliwa et al, 2022)

4.12.2. Τιτάνιο και κράματα τιτανίου

Το τιτάνιο (Ti) και τα κράματά του έχουν πολλές ιδιότητες που είναι ελκυστικές ως δομικά υλικά, αλλά έχουν επίσης ένα σημαντικό μειονέκτημα, το υψηλό αρχικό κόστος. Ωστόσο, τα κράματα Ti και το τιτάνιο χρησιμοποιούνται εκτενώς σε αεροσκάφη, κινητήρες αεροστροβίλων και πυραυλοκινητήρες. Το υψηλό κόστος είναι αποτρεπτικό, ιδιαίτερα σε εφαρμογές ατράκτου αεροσκαφών, καθώς τα άλλα κράματα που ανταγωνίζονται έχουν, ως επί το πλείστον, σημαντικά χαμηλότερο κόστος.

Το τιτάνιο και τα κράματά του αποτελούνται από πέντε οικογένειες κραμάτων. Το α-Ti, τα κοντά σε α-κράματα (Al, Sn και Zr με ελάχιστες ποσότητες β-σταθεροποιητών χαμηλής διαχύσεως όπως Mo ή Nb, και λίγο Si), τα α + β κράματα, τα β-κράματα και οι διαμεταλλικές ενώσεις με βάση το τιτάνιο. Οι διαμεταλλικές ενώσεις πρωταρχικού ενδιαφέροντος σήμερα είναι αυτές που βασίζονται στην ένωση TiAl, οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο για εφαρμογές κινητήρα λόγω της ικανότητας υψηλότερης θερμοκρασίας τους. (Williams & Boyer, 2020)

4.12.3. Μαγνήσιο και κράματα μαγνησίου

Το μαγνήσιο, το ελαφρύτερο δομικό μέταλλο στον κόσμο, είναι ένα ασημί-λευκό υλικό που ζυγίζει μόνο τα δύο τρίτα από το αλουμίνιο. Στην καθαρή του μορφή, παρουσιάζει υψηλότερη αναλογία αντοχής προς το βάρος και καλύτερη ολκιμότητα και ικανότητα χύτευσης από το αλουμίνιο και τον χάλυβα. Σε σύγκριση με άλλα μέταλλα και πολυμερή υλικά, το μαγνήσιο δεν παρουσιάζει κίνδυνο τοξικότητας, ενώ αποδίδει καλύτερα στην θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, στην απορρόφηση των κραδασμών και στην ικανότητα

απόσβεσης. Το μαγνήσιο διαθέτει επίσης καλές μηχανικές ιδιότητες και μπορεί να διαμορφωθεί με οποιαδήποτε καθιερωμένη μέθοδο.

Ωστόσο, η αξιοσημείωτη αδυναμία του είναι η ευαισθησία του στην διάβρωση. Διαβρώνεται γρήγορα υπό δύο συνθήκες: (α) όταν το κράμα είναι κατασκευασμένο με συγκεκριμένες μεταλλικές ακαθαρσίες ή (β) σε έκθεση σε επιθετικά είδη ηλεκτρολυτών. Οι τεχνολογίες επίστρωσης που έχουν αναπτυχθεί βοηθούν προκειμένου να ξεπεραστεί αυτή η αδυναμία, π.χ. ηλεκτροχημική επένδυση, επικαλύψεις μετατροπής και ανοδίωση. Το καθαρό μαγνήσιο είναι ιδανικό για μεταλλουργικές και χημικές χρήσεις αλλά όχι για μηχανικούς και δομικούς σκοπούς. Επομένως, πρέπει να γίνει κράμα για μηχανικές και δομικές εφαρμογές για την ενίσχυση των ασθενέστερων ιδιοτήτων του χωρίς να θυσιάζει τα βασικά του χαρακτηριστικά. Η τήξη και η χύτευση κραμάτων μαγνησίου σε αδρανή ατμόσφαιρα υποβοηθούμενη από κενό είναι η προτιμώμενη μέθοδος κατασκευής καθώς το μαγνήσιο στερεοποιείται καλύτερα από άλλα χυτά μέταλλα. (Tan & Ramakrishna, 2021)

4.12.4. Χάλυβας (Steel) και κράματα χάλυβα

Ο χάλυβας είναι απαραίτητο υλικό στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Είναι εξαιρετικά σκληρό και ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες, την διάβρωση και την συνεχή φθορά, ενώ εξακολουθεί να είναι ελαφρύ. Ο χάλυβας αεροδιαστημικής ποιότητας χρησιμοποιείται συχνά για την παραγωγή εξοπλισμού προσγείωσης λόγω της ικανότητάς του να αντέχει σε υψηλή καταπόνηση και μεγάλες κρούσεις. Είναι μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για πολλά εξαρτήματα αεροσκαφών που απαιτούν απόδοση υψηλής ποιότητας και μεγάλης διάρκειας. Μερικά εξαρτήματα που συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα περιλαμβάνουν μηχανές, αγωγούς εξάτμισης, σύστημα προσγείωσης και δεξαμενές καυσίμων. (“Types of Aerospace-Grade Metals”, n.d.)

Ο χάλυβας προέρχεται από την προσθήκη άνθρακα σε σίδηρο, σε ποσοστά που κυμαίνονται μέχρι περίπου 1%, ενώ το προϊόν που προκύπτει είναι πολύ ανώτερο από τον σίδηρο. Ο ανθρακούχος χάλυβας αποτελεί την βάση των κραματοποιημένων χαλύβων που παράγονται με την προσθήκη άλλων στοιχείων τα οποία βελτιώνουν τις χημικές ή φυσικές ιδιότητες του βασικού μετάλλου για συγκεκριμένη χρήση. Για την ονομασία των κραμάτων χάλυβα χρησιμοποιείται ένα σύστημα τεσσάρων ψηφίων, όπου το πρώτο ψηφίο αντιπροσωπεύει τον τύπο χάλυβα, το δεύτερο το ποσοστό του κύριου στοιχείου κράματος και τα τελευταία δύο ή τρία ψηφία το ποσοστό σε εκατοστά του 1% άνθρακα στο κράμα. (Πίνακας 4.3.)

Type of Steel	Classification
Carbon	1xxx
Nickel	2xxx
Nickel-chromium	3xxx
Molybdenum	4xxx
Chromium	5xxx
Chromium- vanadium	6xxx
Tungsten	7xxx
Silicon-manganese	9xxx

Πίνακας 4.3. Σύστημα ονομασίας για τα κράματα χάλυβα (Reithmaier & Sterkenburg, 2014)

4.13.Μηχανουργικές - Ελασματοουργικές κατεργασίες του απαρτίου

Οι μηχανουργικές και ελασματοουργικές κατεργασίες αποτελούν σημαντικό μέρος της διαδικασίας κατασκευής στην αεροπορική βιομηχανία και περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα διαδικασιών που απαιτούνται για την κατασκευή αεροσκαφών και των συναφών εξαρτημάτων. Κάθε διαδικασία έχει την ιδιαιτερότητά της και επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε συγκεκριμένου έργου. Ορισμένες από τις κύριες μηχανουργικές και ελασματοουργικές κατεργασίες που εφαρμόζονται στο εργοστάσιο Αεροκατασκευών της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας περιλαμβάνουν:

- **Τόρνευση (Turning):**

Η διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί έναν τόρνο για την αφαίρεση υλικού από ένα απάρτιο, δημιουργώντας κυκλικές ή κωνικές επιφάνειες.

- **Φρεζάρισμα (Milling):**

Η διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί μία φρέζα για την αφαίρεση υλικού από ένα απάρτιο, δημιουργώντας επίπεδες ή προφίλ επιφάνειες.

- **Τρυπάνι (Drilling):**

Η διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί ένα τρυπάνι για την δημιουργία οπών σε απάρτια για την τοποθέτηση βιδών, παξιμαδιών κλπ.

- **Ηλεκτροδιάβρωση (Electro-Discharge Machining - EDM):**

Μία διαδικασία που χρησιμοποιεί ηλεκτρικές αντιδράσεις (διαρροές ρεύματος μεταξύ δύο ηλεκτροδίων) για να αφαιρέσει υλικό και να διαμορφώσει μεταλλικά κομμάτια.

- **Κατεργασία με CNC (Computer Numerical Control - CNC Machining):**

Η αυτοματοποιημένη διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί υπολογιστικό σύστημα για τον έλεγχο της κίνησης και των εργαλείων κοπής.

- **Πρέσα (Pressing):**

Η χρήση πρέσας για την διαμόρφωση των μεταλλικών φύλλων σε επιθυμητά σχήματα.

- **Υδρομηχανική Κατεργασία (Hydroforming):**

Μία διαδικασία κατεργασίας με εργαλεία (καλούπια) για την διαμόρφωση του μεταλλικού φύλλου σε επιθυμητό σχήμα.

- **Διαμόρφωση με ρολά (Roll Forming):**

Μία διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί κυλινδρικά εργαλεία για την δημιουργία σχημάτων σε μεταλλικά φύλλα ή προφίλ.

- **Κατεργασία με σφυρηλάτηση (Swaging):**

Μία διαδικασία κατεργασίας που χρησιμοποιεί την πίεση για να αλλάξει το σχήμα ή το μέγεθος ενός μεταλλικού κομματιού. Εκχείλιση λουκιών σε ρουλεμάν.

- **Συγκόλληση (Welding):**

Η διαδικασία ένωσης δύο ή περισσότερων μεταλλικών εξαρτημάτων με την χρήση θερμότητας ή πίεσης.

- **Κλείστρα (Fastening):**

Η εφαρμογή διαφόρων μορφών στερέωσης, όπως βίδες, παξιμάδια και αντιστοίχων, για την συγκράτηση εξαρτημάτων σε αεροσκάφη.

- **Κατεργασία με Εκτύπωση 3D (3D Printing/Additive Manufacturing):**

Η δημιουργία των εξαρτημάτων με την (στρώση κατά στρώση) πρόσθεση υλικού, η οποία συνήθως γίνεται με την χρήση μετάλλων ή πλαστικών.

- **Συγκόλληση με Τιγρέ (TIG) ή MIG (Metal Inert Gas) ή MAG (Metal Active Gas):**

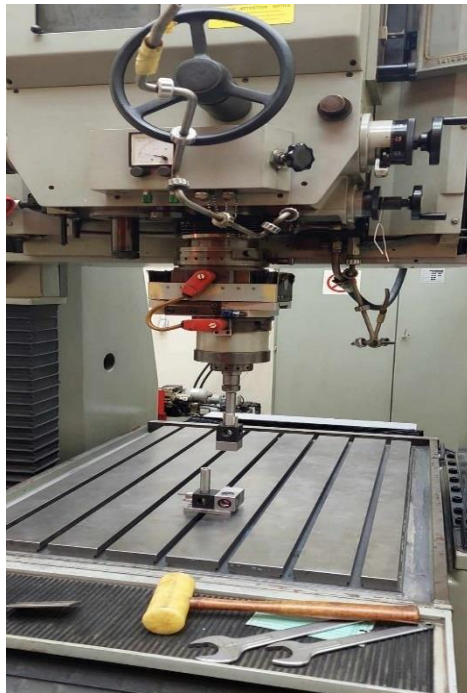
Διάφορες μορφές συγκόλλησης που χρησιμοποιούν αέρια ή ανθρακούχα αέρια για την δημιουργία συνδέσμων μεταξύ μεταλλικών εξαρτημάτων.

- **Πλαστικοποίηση (Forming):**

Κατεργασία μετάλλων και άλλων υλικών με την χρήση form blocks για την διαμόρφωσή τους σε επιθυμητά σχήματα.

- **Κατεργασία με Μηχανικό Τρίψιμο (Grinding):**

Η αφαίρεση υλικού από επιφάνειες με την χρήση ειδικών υγρών και εργαλείων κοπής.
(Εικόνα 4.5.)



Εικόνα 4.5. Μηχανή Jig Grinder για
ρεκτιφιέ σε τρύπες

- **Κατεργασία με Σμίλευση (Honing):**

Χρησιμοποιείται για την βελτίωση της επιφάνειας και της ακρίβειας των οπών και των καναλιών.

- **Check and straighten:**

Η ευθυγράμμιση ή η προένταση προφίλ δοκών, πλακών ή συγκολλημένων κατασκευών με πρέσα ισιώματος ή χειροκίνητες μηχανές.

- **Shot Peening:**

Αποτελεί ψυχρή διαδικασία επεξεργασίας κατά την οποία μία επιφάνεια ενός απαρτίου βομβαρδίζεται με μικρά σφαιρίδια, προκειμένου να επιτευχθεί επιφανειακή σκλήρυνση του υλικού.

4.14.Απογρέζωση – Deburring

Η διαμόρφωση εξαρτημάτων μηχανών με μηχανική κατεργασία παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην παραγωγή. Οι σύγχρονες τάσεις στις εργασίες φρεζαρίσματος εδώ και αρκετό καιρό επικεντρώθηκαν σε διαδικασίες που ονομάζονται HSC - High Speed Cutting και HPC - High Performance Cutting. Αυτές οι τάσεις παρατηρούνται ευρέως στην αεροδιαστημική βιομηχανία, όπου η λήψη του επιθυμητού σχήματος του εξαρτήματος συχνά συνδέεται με την αφαίρεση του περισσότερο από το 90% του υλικού από το κενό. Τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στην επεξεργασία επιφανειών κατά το φινίρισμα ενός πολύπλοκου σχήματος, συχνά αντιμετωπίζοντας την διαδικασία του milling (φρεζάρισμα) ως την τελευταία επεξεργασία στην διαδικασία διαμόρφωσης του τελικού προϊόντος. Ωστόσο, κατά την διαδικασία του milling, καθώς και κατά την διάρκεια άλλων επεξεργασιών που περιλαμβάνουν την αφαίρεση υλικού, όταν η κοπτική άκρη αφήνει το υλικό, μπορεί να εμφανιστεί ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο σχηματισμού γρεζιών-metal chips. (Matuszak & Zaleski 2018).

Η αφαίρεση γρεζιών έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί απλοποιεί και συχνά καθιστά δυνατή την σωστή εκτέλεση των εργασιών κατεργασίας, συναρμολόγησης και ελέγχου. Επιπρόσθετα εξασφαλίζει την σωστή λειτουργία των εξαρτημάτων σε ένα συγκρότημα, αφού τα άκρα τους πρέπει να έχουν μια συγκεκριμένη, καθορισμένη κατάσταση, όπως περιγράφεται στο ISO 13715:2020. Λόγω της ποικιλίας των γεωμετρικών σχημάτων των μερών, καθώς και των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται, η επιλογή των μεθόδων αφαίρεσης γρεζιών δεν είναι απλή, ενώ υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αφαίρεσής τους, όπως φινίρισμα με δονήσεις, με χρήση ηλεκτρικής εκκένωσης, με την χρήση πνευματικών εργαλείων υψηλής ταχύτητας, με εργαλεία χειρός (Εικόνα 4.6.) κλπ.



Εικόνα 4.6. Εργαλεία για απογρέζωση: Λίμες, απογρεζωτές, φρέζες, τροχός

4.15. Οπτικός έλεγχος (Visual Inspection)

Για το First Article Prototype και εν συνεχεία για τα παραγωγικά κομμάτια που θα κατασκευαστούν, ακολουθείται η εκάστοτε κατευθυντήρια οδηγία που δίδεται από τον πελάτη και η οποία καθορίζει τους τύπους ζημιών στην επιφάνεια και τα κριτήρια αποδοχής για την οπτική επιθεώρηση των εξαρτημάτων. Ωστόσο, οι απαιτήσεις σχεδίασης του πελάτη και που μπορεί να αναφέρονται στα μηχανολογικά σχέδια (π.χ. απαίτηση για συγκεκριμένη τιμή τραχύτητας/roughness) έχουν προτεραιότητα έναντι των κριτηρίων αποδοχής που περιγράφονται στην κατευθυντήρια οδηγία. Τα εξαρτήματα αλουμινίου διαφέρουν από τα εξαρτήματα που κατασκευάζονται από άλλα κράματα στο ότι η περιστασιακή επαφή μεταξύ τους ή μεταξύ αυτών και άλλων αντικειμένων έχει ως αποτέλεσμα χτυπήματα τα οποία δεν γίνονται αποδεκτά από τον πελάτη. Όλα τα μέρη ανεξαρτήτως κράματος πρέπει να προστατεύονται με τρόπο που να αποτρέπει οποιαδήποτε επιβλαβή επαφή.

Η οπτική επιθεώρηση εκτελείται χωρίς μεγέθυνση και είναι υπό φωτισμό «ψυχρού λευκού». Ο φωτισμός πρέπει να είναι τέτοιας έντασης ώστε να φωτίζει επαρκώς την προς αξιολόγηση περιοχή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρόσθετος φωτισμός όπως απαιτείται για την επαρκή αξιολόγηση μιας επιφάνειας (π.χ. φακός ή προβολέας). Όταν απαιτείται πιο προσεκτική αξιολόγηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγέθυνση 4X.

Το προσωπικό Διασφάλισης Ποιότητας που αξιολογεί την οπτική ποιότητα των προϊόντων απαιτείται να ελέγχεται περιοδικά η όρασή του για να διασφαλίζεται ότι πληροί την ελάχιστη απαίτηση για οπτική αντίληψη.

Τα είδη των ελαττωμάτων τα οποία είναι δυνατόν να παρατηρηθούν από τον επιθεωρητή κατά τον οπτικό έλεγχο περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Burr:** Μία τραχειά “κορυφογραμμή” ή άκρη που αφήνεται στην διασταύρωση δύο επιφανειών.
- **Corrosion (Διάβρωση):** Φθορά του μετάλλου με αποτέλεσμα αλλαγή χρώματος και αφήνοντας μία τραχειά επιφάνεια που μπορεί να εμφανίζει κοιλώματα (μικρές κοιλότητες). Οι αλλοιώσεις αυτές στο υλικό προκύπτουν λόγω αντίδρασης με το περιβάλλον, όπως είναι η υγρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες, διάφορες χημικές ουσίες και άλλοι παράγοντες του περιβάλλοντος.
- **Crack:** Ρωγμή ή θραύση που προκαλείται σε ένα υλικό, συνήθως λόγω φθοράς, κόπωσης, διάβρωσης, αστοχιών στο ίδιο το υλικό, ελαττωματικών διαδικασιών κατασκευής ή υπερβολικής φόρτισης.
- **Dent:** Ατέλεια της επιφάνειας που προκαλείται από αμβλύ αντικείμενο με τέτοιο τρόπο ώστε η επιφάνεια να μην υφίσταται υλική απώλεια αλλά να εμφανίζει εσοχή (βαθούλωμα).
- **Discoloration:** Αποχρωματισμός, τοπική ή γενικευμένη αλλαγή στο χρώμα του εξαρτήματος.
- **Foreign Material:** Στερεό ή υγρό υλικό ή ουσία που δεν αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του ίδιου του απαρτίου. Τέτοιο υλικό ή ουσία μπορεί να προσκολλάται σε επιφάνειες ή διόδους. Τα γρέζια επίσης θεωρούνται ως ξένο υλικό.
- **Nick:** Εσοχή με ανασηκωμένες αιχμηρές άκρες ή γωνίες.
- **Pitting:** Κενά ή κοιλότητες που εκτείνονται στην επιφάνεια του κομματιού.
- **Scratch (Γρατσουνιά):** Σημάδι που έχει προκληθεί από αιχμηρό ή τραχύ αντικείμενο.
- **Step ή Mismatch:** Αν δεν προσδιορίζεται από το μηχανολογικό σχέδιο, αφορά μία απότομη αλλαγή στο προφίλ της επιφάνειας ή αναντιστοιχία μεταξύ δύο ή περισσότερων επιφανειών και αποτελεί λόγο απόρριψης.
- **Tear:** Διαχωρισμός του υλικού σε μέρη λαμαρίνας ή τραβηγμένο υλικό που προκύπτει από την μηχανική κατεργασία.

- **Machine Tool Mark (includes chatter marks):** Σημάδι προς την κατεύθυνση της κατεργασίας που έχει αφήσει το εργαλείο κατεργασίας. Τα σημάδια μπορεί να είναι ίσια, κυκλικά ή σπειροειδή.
- **Chips (Γρέζια):** Θραύσματα μετάλλου ή υλικού που βρίσκονται συνήθως παγιδευμένα κάτω από “τυφλές” τρύπες, διασταυρώσεις οπών κ.λπ.
- **Crater:** Κοιλότητα με κυκλικό περίγραμμα και υπερυψωμένη άκρη, που μοιάζει με στόμιο ηφαιστείου.
- **Feather Edge:** Συγκεκριμένος τύπος κωνικού γρεξιού σε μία λεπτή άκρη, που βρίσκεται στην διασταύρωση των επεξεργασμένων επιφανειών πριν σπάσει ή σπάσει ακατάλληλα η άκρη.
- **Flash:** Γρέξι που αποβάλλεται στο κενό μεταξύ των τμημάτων του καλουπιού ή των τμημάτων της μήτρας κατά το σχηματισμό και προκαλεί ανωμαλίες στο κομμάτι.
- **Gouge:** Πλάγια κοιλότητα που προκαλείται από το σχίσσιμο της επιφάνειας από αιχμηρό αντικείμενο.
- **Inclusions:** Ορατό σωματίδιο ξένου υλικού που συγκρατείται στο μέταλλο κατά την στερεοποίηση και έχει αποκαλυφθεί κατά την επεξεργασία.
- **Lap:** Αν δεν προσδιορίζεται από το μηχανολογικό σχέδιο, αφορά αποκόλληση που μοιάζει με γλώσσα μικρού πάχους, και προκαλείται συχνά από το δίπλωμα πάνω από το υλικό και την ώθησή του στην επιφάνεια.
- **Porosity:** Μικρές οπές ή κενά σε κοντινή απόσταση με μεταβλητό βάθος και σχήμα.
- **Scale:** Αποκόλληση σαν νιφάδα μικρού πάχους.
- **Stain:** Αποχρωματισμός επιφάνειας λόγω ξήρανσης υγρών πάνω στο απάρτιο.
- **Scallops:** Σημάδια μηχανικής κατεργασίας που αφήνονται στις επιφάνειες μετά την δημιουργία contour (καμπύλη μορφή). (“Workmanship Standard”, 2017)

Παραδείγματα ελαττωμάτων και ατελειών στα απάρτια/εξαρτήματα κατά τον οπτικό έλεγχο φαίνονται στην εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7. Παραδείγματα ελαττωμάτων κατά τον οπτικό έλεγχο (PMD Inc. (2017))

4.16. Διαστατικός Έλεγχος (Dimensional Inspection)

Ο διαστατικός έλεγχος αποτελεί μία διαδικασία σύγκρισης του τι είναι ένα αντικείμενο στην πραγματικότητα με αυτό που θα έπρεπε να είναι. Στον κατασκευαστικό κόσμο, το αντικείμενο μπορεί να είναι ένα τελικό προϊόν, ένα πρωτότυπο ή ένα προσαρμοσμένο εξάρτημα για μία νέα γραμμή παραγωγής.

Ο διαστατικός έλεγχος στην αεροπορική βιομηχανία αφορά την διαδικασία επαλήθευσης των διαστάσεων και της γεωμετρίας εξαρτημάτων, μερών ή συνόλων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, την επισκευή ή την συντήρηση των αεροσκαφών. Στόχος είναι η επιβεβαίωση ότι τα εξαρτήματα πληρούν τις ακριβείς διαστάσεις και απαιτήσεις που καθορίζονται στα σχέδια και στις προδιαγραφές. Για τον λόγο αυτόν, όπου απαιτείται μέτρηση ενός αντικειμένου, είναι σημαντικό να μετράται με ακρίβεια, ορθότητα και πιστότητα. (“Understanding Dimensional Inspection”, 2013)

Η μετρολογική ιχνηλασιμότητα είναι μια ιδιότητα ενός αποτελέσματος μέτρησης μέσω της οποίας το αποτέλεσμα σχετίζεται με συγκεκριμένα πρότυπα αναφοράς

Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους λόγους για την πραγματοποίηση επιθεώρησης διαστάσεων περιλαμβάνουν:

- **Επιθεώρηση πρωτότυπου απαρτίου** – Το πρώτο προϊόν που βγαίνει από μία σειρά παραγωγής δείχνει πόσο καλά έχει εφαρμοστεί η διαδικασία κατασκευής.

- **Ποιοτικός έλεγχος** – Επαλήθευση μίας διαδικασίας παραγωγής μετρώντας τα τελικά προϊόντα, είτε με επιτόπιο έλεγχο κάθε παρτίδας είτε με αυτόματη επιθεώρηση δειγμάτων ή κάθε έτοιμου προϊόντος που βγαίνει από την γραμμή.
- **Συμμόρφωση με τους κανονισμούς** – Παραμονή εντός των προδιαγραφών που περιγράφονται από την FAA, την FDA ή άλλους ρυθμιστικούς φορείς.
- **Μηχανική υψηλής ακρίβειας** – Αν έστω και ένα μικρό μέρος ή εξάρτημα έχει ατέλεια επιφάνειας μπορεί να επηρεάσει ένα ολόκληρο συγκρότημα.

Για τον έλεγχο των διαστάσεων χρησιμοποιείται φυσικός εξοπλισμός μέτρησης ώστε να ποσοτικοποιηθούν τιμές όπως μήκος, πλάτος και ύψος, γωνίες και καθετότητα, στρογγυλότητα, επιπεδότητα και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προφίλ σχήματος, χαρακτηριστικά επιφάνειας, πάχος και ομοιομορφία.

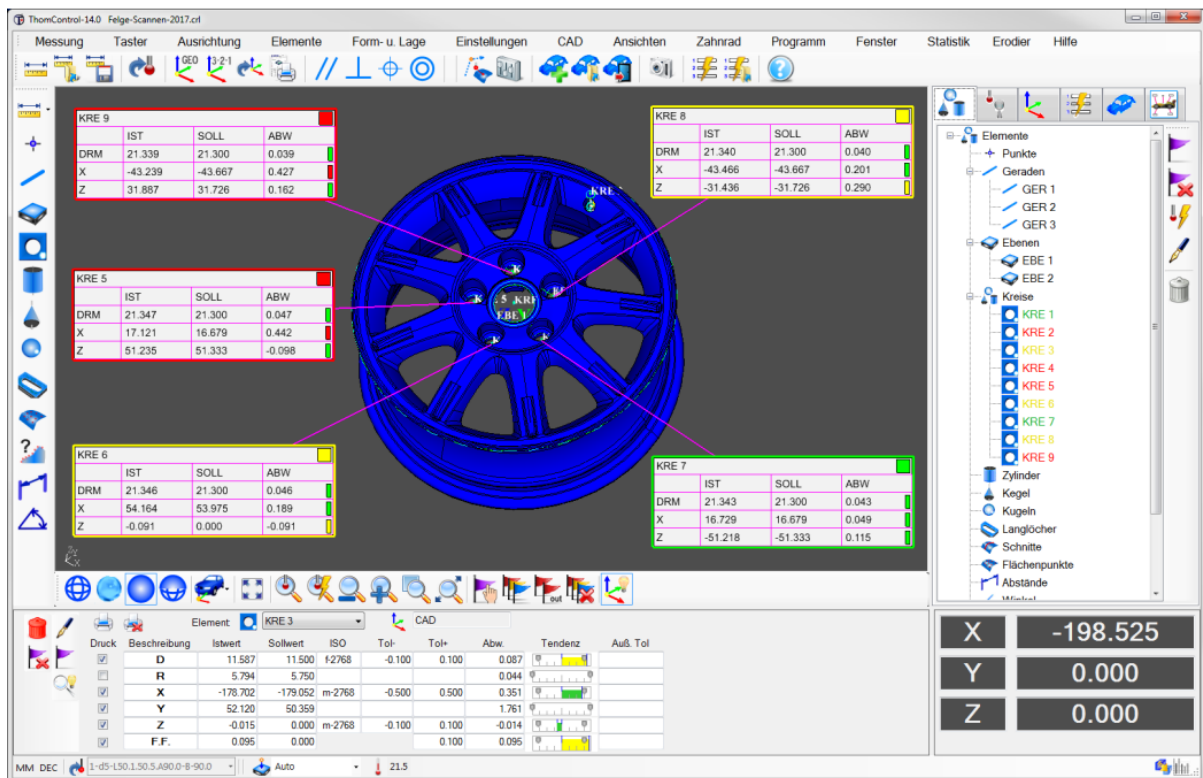
Ο διαστατικός έλεγχος του FAP (First Article Inspection) στην E.A.B. πραγματοποιείται με τους εξής τρόπους:

Με μηχανή μέτρησης συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine)

Η μηχανή μέτρησης συντεταγμένων (CMM) είναι μία συσκευή που μετρά την γεωμετρία πολύπλοκων εξαρτημάτων/απαρτίων ανιχνεύοντας διακριτά σημεία στην επιφάνεια των αντικειμένων με την βοήθεια ενός ανιχνευτή. Διάφοροι τύποι ανιχνευτών χρησιμοποιούνται στις μετρητικές μηχανές CMM, συμπεριλαμβανομένων μηχανικών, οπτικών, λέιζερ και λευκού φωτός. Ανάλογα με το μηχάνημα, η θέση του αισθητήρα μπορεί να ελέγχεται χειροκίνητα από έναν χειριστή ή μπορεί να ελέγχεται από υπολογιστή. Οι μηχανές CMM τυπικά καθορίζουν την θέση ενός ανιχνευτή ως προς την μετατόπισή του από μία θέση αναφοράς σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (δηλαδή με άξονες XYZ). (Εικόνα 4.8.)

Εκτός από την μετακίνηση της κεφαλής (probe) κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z, πολλά μηχανήματα επιτρέπουν επίσης τον έλεγχο της γωνίας του ανιχνευτή ώστε να επιτρέπεται η μέτρηση επιφανειών που διαφορετικά θα ήταν απρόσιτες. Η τυπική τρισδιάστατη "γέφυρα" CMM επιτρέπει την κίνηση του ανιχνευτή κατά μήκος τριών αξόνων, X, Y και Z, οι οποίοι είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε άξονας έχει έναν αισθητήρα που παρακολουθεί την θέση της κεφαλής σε αυτόν τον άξονα, συνήθως με ακρίβεια μικρομέτρου. Όταν ο αισθητήρας έρχεται σε επαφή (ή ανιχνεύει με άλλον τρόπο) μία συγκεκριμένη θέση στο αντικείμενο, το μηχάνημα λαμβάνει δείγματα από τους τρεις αισθητήρες θέσης, μετρώντας έτσι την θέση ενός σημείου στην επιφάνεια του

αντικειμένου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται όπως χρειάζεται, μετακινώντας την κεφαλή κάθε φορά, για να παραχθεί ένα «νέφος σημείων» που περιγράφει τις επιφανειακές περιοχές ενδιαφέροντος.



Εικόνα 4.8. Λογισμικό μέτρησης για CMM Μηχανές (Thome Precision, n.d.)

Μία κοινή χρήση των CMM είναι στις διαδικασίες κατασκευής και συναρμολόγησης για την δοκιμή ενός εξαρτήματος ή ενός συγκροτήματος σε σχέση με την πρόθεση σχεδιασμού. Σε τέτοιες εφαρμογές δημιουργούνται νέφη σημείων τα οποία αναλύονται μέσω αλγορίθμων παλινδρόμησης για την κατασκευή χαρακτηριστικών. Αυτά τα σημεία συλλέγονται με την χρήση της κεφαλής που τοποθετείται χειροκίνητα από έναν χειριστή ή αυτόματα μέσω Direct Computer Control (DCC). Τα DCC CMM μπορούν να προγραμματιστούν για να μετρούν επανειλημμένα πανομοιότυπα μέρη. Έτσι, ένα αυτοματοποιημένο CMM αποτελεί μία εξειδικευμένη μορφή βιομηχανικού ρομπότ. (Rohit, 2018)

Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, το τμήμα του διαστατικού ελέγχου στο εργοστάσιο Αεροκατασκευών, έχει στην διάθεσή του δύο τέτοιες μετρητικές μηχανές, οι οποίες χρησιμοποιούνται από εξειδικευμένο και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

Με μετρητικά όργανα:

Μετρητικά όργανα (σε mm ή ίντσες) που χρησιμοποιούνται από τους επιθεωρητές για τον έλεγχο των διαστάσεων του πρωτότυπου απαρτίου και εν συνεχεία των παραγωγικών κομματιών στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, αποτελούν τα παρακάτω:

- Παχύμετρα Vernier, ψηφιακά, με ρολόι (Calipers) (Εικόνα 4.9.)
- Μικρόμετρα (Micrometers) για μέτρηση εξωτερικής διαμέτρου οπών.
- Intrimik Micrometers για εσωτερικές οπές. (Εικόνα 4.9.)
- Μικρόμετρα βάθους (Depth Micrometers).
- Μικρόμετρα “V” για τρεις και πέντε κοπτικές αιχμές.
- Μετρητές Ύψους (High Gauge). Οι μετρητές ύψους χρησιμοποιούνται συνήθως σε μία πλάκα επιφάνειας γρανίτη για την μέτρηση εξαρτημάτων από ένα επίπεδο αναφοράς. (Εικόνα 4.10)
- Τραχύμετρα (Perthometers) για την μέτρηση της τραχύτητας μίας επιφάνειας. (Εικόνα 4.10)
- Surface Roughness Finish Comparators όπου συγκρίνεται η υπό εξέταση επιφάνεια με πλακίδια γνωστής τραχύτητας. (Εικόνα 4.10)
- Air gauge. Ένας συγκριτής όπου χρησιμοποιείται ως μέτρο ο ρυθμός διαφυγής αέρα μεταξύ της υπό δοκιμή επιφάνειας και μίας άλλης γνωστής καμπυλότητας προκειμένου να βρεθεί η διαφορά μεταξύ των δύο.
- Point Micrometer για τον έλεγχο του πάχους επιφανείας σε συγκεκριμένο σημείο.
- Φίλλερ (Filler)
- Pin Gages για μέτρηση εσωτερικής διαμέτρου. (Εικόνα 4.9.)
- Σπειρόμετρα για μέτρηση του βήματος σπειρωμάτων.



Εικόνα 4.9. Μετρητικά όργανα: Pin gages, micrometers, Sine bar, Calipers

- Γωνιόμετρα (αναλογικά και ψηφιακά) για μέτρηση γωνιών. (Εικόνα 4.10)
- Sine bars όπου χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με Johansson gauges για ακριβείς γωνιακές μετρήσεις. (Εικόνα 4.9.)
- Gauge blocks (ή gage blocks ή Johansson gauges ή slip gauges) τα οποία δίδουν μήκη ακριβείας.
- Hardness Meter για μέτρηση της σκληρότητας των μετάλλων.
- Conductivity Meter για την μέτρηση της αγωγιμότητας των μετάλλων.
- Radius Gauges για την μέτρηση ραδίων.
- Προτζέκτορας για εξαιρετικά ακριβή και επαναλαμβανόμενα δεδομένα μετρήσεων κυρίως πολύ μικρών κομματιών όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα όργανα.
- Chamfer gauges για την μέτρηση των chamfers. (Λοξότμηση - μεταβατική ακμή μεταξύ δύο όψεων ενός αντικειμένου).
- Εργαλεία (Tools) που έχουν κατασκευαστεί στην Ε.Α.Β. και έχουν πιστοποιηθεί από τον πελάτη για την μέτρηση του contour. (καμπυλότητα)
- Εργαλεία (Tools) που έχουν κατασκευαστεί στην Ε.Α.Β. και έχουν πιστοποιηθεί από τον πελάτη για τον έλεγχο συγκεκριμένων part-numbers απαρτίων. (π.χ. go-no go εργαλεία)



Εικόνα 4.10. Μετρητικά όργανα: High gauge, goniometer, perthometer, roughness comparators.

Με Mylars

Στην αεροδιαστημική, τα Mylars είναι αδιάστατα μηχανολογικά σχέδια. Τα σχέδια mylar έχουν υψηλή απαίτηση ακρίβειας $\pm 0.005"$ και είναι συνήθως πολύ μεγάλα (έως 48" X 180"). Κατά την διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, το τμήμα που απεικονίζεται στο Mylar κόβεται σε μέταλλο και στη συνέχεια τοποθετείται στο Mylar για έλεγχο της ακρίβειας. Λόγω των απαιτήσεων για πολύ αυστηρές, ακριβείς ανοχές στην κατασκευή αεροσκαφών, η ακρίβεια είναι εξαιρετικά σημαντική. Η παραμικρή απόκλιση μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία εξαρτημάτων στο έτοιμο αεροσκάφος. ("How to Convert Mylar Aerospace Drawings to 3D CAD", n.d.)

4.17. Σχέδια και βοηθητικά έγγραφα για τον διαστατικό έλεγχο στην Ε.Α.Β.

Κατά τον διαστατικό έλεγχο του πρωτότυπου απαρτίου, ο επιθεωρητής, προκειμένου να ελέγξει τις διαστάσεις έχει στην διάθεσή του τα εξής:

- **Detail Drawing (Σχέδιο λεπτομέρειας)**

Ένα σχέδιο λεπτομέρειας είναι μια περιγραφή ενός μόνο τμήματος, που δίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να περιγράφει με γραμμές, σημειώσεις και σύμβολα τις προδιαγραφές ως προς το μέγεθος, το σχήμα, το υλικό και μεθόδους κατασκευής που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του εξαρτήματος. Τα σχέδια λεπτομερειών είναι συνήθως αρκετά απλά και, όταν τα μεμονωμένα μέρη είναι μικρά, μπορεί να εμφανίζονται πολλά σχέδια λεπτομερειών στο ίδιο φύλλο ή εκτύπωση.

- **Assembly drawing (Σχέδιο συναρμολόγησης)**

Ένα σχέδιο συναρμολόγησης είναι μία περιγραφή ενός αντικειμένου που αποτελείται από δύο ή περισσότερα εξαρτήματα. Περιγράφει το αντικείμενο δίνοντας, με γενικό τρόπο, το μέγεθος και το σχήμα. Πρωταρχικός σκοπός του είναι να δείξει την σχέση των διαφόρων μερών. Το σχέδιο συναρμολόγησης είναι συνήθως πιο περίπλοκο από ένα σχέδιο λεπτομέρειας και συχνά συνοδεύεται από λεπτομερή σχέδια διαφόρων μερών. (Reithmaier et al, 2014)

- **Installation drawing (Σχέδιο εγκατάστασης)**

Ένα σχέδιο εγκατάστασης παρέχει πληροφορίες για την σωστή τοποθέτηση και εγκατάσταση των αντικειμένων σε σχέση με την δομή στήριξης και τα παρακείμενα στοιχεία, ανάλογα με την περίπτωση. Οι πληροφορίες μπορεί να περιλαμβάνουν δεδομένα διαστάσεων, περιγραφές υλικού και πληροφορίες γενικής διαμόρφωσης για την τοποθεσία εγκατάστασης. (ASME Y14.24, 2020)

- **Order To Plan (OTP)**

Στο έγγραφο αυτό, γίνεται αναφορά στα εξής:

1. Το part number του απαρτίου.
2. Σύντομη περιγραφή του απαρτίου (π.χ. αν αφορά clip, angle κλπ)
3. Το σχέδιο στο οποίο πρέπει να ανατρέξει ο επιθεωρητής, την ζώνη και τον αριθμό σελίδας του σχεδίου, καθώς και τυχόν όψεις (views) που πρέπει να δει με τις αντίστοιχες ζώνες τους.

4. Τον συνολικό αριθμό των οπών που μπορεί να έχει το κομμάτι και την διάσταση αυτών.
5. Τον αριθμό των οπών που μπορεί να χρειάζεται να παραληφθούν προκειμένου να γίνουν στο μετέπειτα στάδιο της συναρμολόγησης, παρ'όλο που το σχέδιο τις αναγράφει.
6. Τον αριθμό του mylar που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο επιθεωρητής στην περίπτωση που απαιτείται για τον έλεγχο.
7. Τυχόν διευκρινίσεις που ζητήθηκαν από το τμήμα engineering του πελάτη και η απάντηση που ελήφθη.
8. Τον αριθμό του εργαλείου (Tool number) που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο επιθεωρητής όπου απαιτείται.

- **Perimeter and Hole Pattern Analysis Sheet (PHPAS)**

Το έγγραφο αυτό περιλαμβάνει το τμήμα του σχεδίου όπου σημειώνονται οι οπές που πρέπει να γίνουν στο απάρτιο, αυτές που ενδεχομένως πρέπει να παραληφθούν, καθώς και πρόσθετες πληροφορίες για διαστάσεις όπως πχ. το edge distance (διάσταση από κέντρο οπής έως το τέλος του κομματιού), pitch (διάσταση μεταξύ των κέντρων δύο οπών) κ.α.

- **Temporary Deviation Authorization (TDA)**

Στην περίπτωση που ο πελάτης ζητάει μία προσωρινή αλλαγή για κάποιο συγκεκριμένο part number απαρτίου, πρέπει να πραγματοποιηθεί DELTA FAI. Το έγγραφο αυτό, περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αφορούν την αλλαγή, είτε πρόκειται για διαστάσεις, υλικό ή προδιαγραφές.

- **Drawing Change Note (DCN)**

Αφορά αλλαγή σε σχέδιο για υπάρχον part number απαρτίου, προτού αυτή ενσωματωθεί σε νέο σχέδιο (νέο revision) από τον πελάτη. Και στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιείται εκ νέου η διαδικασία FAI.

- **Parts List (PL)**

Η λίστα αυτή, περιλαμβάνει όλα τα part numbers που αναφέρονται στο μηχανολογικό σχέδιο που θα χρησιμοποιήσει ο επιθεωρητής, τις ζώνες του σχεδίου που αφορά το κάθε ένα από αυτά, καθώς και τις αντίστοιχες προδιαγραφές (με κωδικούς) που πρέπει να πληρούν.

4.18. Hardness Test (Μέτρηση Σκληρότητας)

Για την περίπτωση απαρτίου που έχει υποστεί θερμική κατεργασία βάσει των απαιτούμενων προδιαγραφών, είναι αναγκαία η μέτρηση της σκληρότητας του υλικού. Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, πραγματοποιείται η δοκιμή σκληρότητας Rockwell. Αφορά μέτρηση που βασίζεται στην καθαρή αύξηση του βάθους της αποτύπωσης καθώς εφαρμόζεται ένα φορτίο.

Στην μέθοδο δοκιμών σκληρότητας Rockwell, μετράται το βάθος διείσδυσης μιας εσοχής μετά την εφαρμογή ενός μικρού φορτίου και ενός μεγάλου φορτίου. (Εικόνα 4.11.) Η εσοχή μπορεί να είναι είτε μία σφαίρα καρβιδίου βολφραμίου κάποιας καθορισμένης διαμέτρου ή ένας σφαιρικός κώνος με ρόμβο γωνίας 120° και ακτίνας άκρου 0,2 mm, που ονομάζεται εσοχή Brale. Ο τύπος της εσοχής και το φορτίο δοκιμής καθορίζουν την κλίμακα σκληρότητας που εκφράζεται με γράμματα όπως A, B, C και ούτω καθεξής.(Richardson, 2018). Οι μέθοδοι δοκιμής σκληρότητας Rockwell είναι τυποποιημένες στο ASTM E18-22: Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials.



Εικόνα 4.11. Hardness Test

4.19. Conductivity Test (Δοκιμή Αγωγιμότητας)

Εκτός από την δοκιμή σκληρότητας σε απάρτιο μετά από θερμική επεξεργασία, απαιτείται και έλεγχος της αγωγιμότητάς του. Ο μετρητής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για μέταλλα χρησιμοποιεί επεξεργασία δεδομένων μικροεπεξεργαστή για να εξασφαλίσει την ακρίβεια της ανίχνευσης. Επίσης, διαθέτει μηχανή μέτρησης οθόνης LCD. Έτσι, μπορεί κανείς να δει οπτικά τις μετρήσεις χωρίς κανένα σφάλμα.

Το κύκλωμα που χρησιμοποιείται στον μετρητή ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ενσωματωμένο ώστε να εξασφαλίζεται μικρό μέγεθος και σταθερή ένδειξη χωρίς διακυμάνσεις. Καθώς ο μετρητής αγωγιμότητας μετάλλων χρησιμοποιεί συλλογή και επεξεργασία δεδομένων ψηφιακού κυκλώματος, δεν υπάρχει ανάγκη για την επαναλαμβανόμενη περιοδική βαθμονόμηση του οργάνου.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ακρίβεια της ανίχνευσης, αυτό το όργανο ενσωματώνεται με την λήψη ψηφιακού σήματος για το πρώτο λεπτό περίπου 1000 φορές, με τις ανεπαίσθητες αλλαγές στην θερμοκρασία. Η ενσωμάτωση εξασφαλίζει αντιστάθμιση θερμοκρασίας, είναι εγγενώς ανθεκτική και μπορεί να αυτοματοποιηθεί.

Αυτή η δοκιμή μετρητή αγωγιμότητας για μέταλλα δεν είναι καταστροφική. Το ίδιο αντικείμενο στόχου μπορεί να ελέγχεται κατά διαστήματα ή συνεχώς με την πάροδο του χρόνου, ενώ ελέγχει την αγωγιμότητα πριν από την οξείδωση της ανόδου αλουμινίου. Η σύντομη διάρκεια έκθεσης στην εφαρμοζόμενη τάση δεν θερμαίνει σημαντικά το αντικείμενο. Ως εκ τούτου, αυτή η μέθοδος δοκιμής αποφεύγει τα εσφαλμένα αποτελέσματα υψηλής μετρούμενης αγωγιμότητας. (“9 Reasons Why You Need a Metal Conductivity Meter”, 2024)

4.20. Έλεγχος ειδικών διεργασιών

Τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις αεροδιαστημικές εφαρμογές παρέχουν καλή αναλογία αντοχής-βάρους σε λογικό κόστος, αλλά παρουσιάζουν περιορισμένη αντίσταση στην διάβρωση. Ως εκ τούτου, απαιτείται ένα ανθεκτικό και αποτελεσματικό σύστημα αντιδιαβρωτικής προστασίας για την διατήρηση της δομικής ακεραιότητας. Συνήθως, ένα σύστημα αντιδιαβρωτικής προστασίας αποτελείται από ένα σύνολο πολλαπλών στρώσεων ανοδικού οξειδίου με καλές ιδιότητες ορίων και μία πορώδη επιφάνεια, ένα οργανικό αστάρι που παρεμποδίζει την διάβρωση και μία οργανική τελική επίστρωση. (Martínez, Abrahami, Hack, Burchardt & Terry, 2020)

Η Ε.Α.Β. έχει καθιερώσει σύστημα ελέγχου και πιστοποίησης ειδικών διεργασιών που εφαρμόζονται, όπως είναι οι καθαρισμοί (cleaning), οι επιμεταλλώσεις (plating), οι βαφές (painting), οι θερμικές κατεργασίες (heat treatment).

4.20.1. Απαιτήσεις συστήματος ελέγχου ειδικών διεργασιών

Κάθε δεξαμενή, στους χώρους καθαρισμού και επιμεταλλώσεων, φέρει αυτοκόλλητη σήμανση, η οποία πρέπει να τηρείται επικαιροποιημένη. Στα δοκίμια πιστοποίησης, που ακολουθούν την εφαρμογή της διεργασίας, γίνονται οι δοκιμές και οι έλεγχοι όπως καθορίζονται από τις Προδιαγραφές των Διεργασιών, τις Οδηγίες Εργασιών, τα Πλάνα Πιστοποίησης και τις απαιτήσεις των πελατών.

- **Process Specification (PS) –Προδιαγραφή Διεργασιών**

Αφορά έγγραφο που εκπονείται από τον Τομέα Μελετών Ειδικών Διεργασιών & Τεχνολογίας Υλικών, βασιζόμενο σε απαιτήσεις στρατιωτικών προδιαγραφών, διεθνώς αναγνωρισμένων προδιαγραφών, καθώς και σε προδιαγραφές πελατών. Οι προδιαγραφές αυτές περιλαμβάνουν

μεθόδους, τεχνικές και διαδικασίες, που απαιτούν μία ειδική μεθοδολογία για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, κατά την κατασκευή υλικών ή προϊόντων.

- **Οδηγία Εργασίας (How to Work Instruction, HWI)**

Αφορά έγγραφο το οποίο έχει σκοπό να παρέχει εξειδικευμένες λεπτομερείς οδηγίες εργασίας, καθορίζοντας τον τρόπο παραγωγής ή διεργασίας, κριτήρια για το προσωπικό της παραγωγής και τον εξοπλισμό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ελέγχους, τις σχετικές τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση των εργασιών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες όταν απαιτούνται για μία εργασία.

- **Πλάνο Πιστοποίησης (Qualification Plan, QP)**

Αφορά έγγραφο που εκδίδεται από την Διεύθυνση Διαχείρισης και Ελέγχου Ποιότητας σε συνεργασία με τον Τομέα Μελετών Ειδικών Διεργασιών & Τεχνολογίας Υλικών, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα στάδια κάθε ειδικής διεργασίας που εφαρμόζεται σε απάρτια αεροσκαφών, κινητήρων, ή κατασκευαστικών προγραμμάτων και έχει σαν σκοπό την πιστοποίηση της διεργασίας και τον έλεγχο αυτής.

4.20.2. Έλεγχος Διαλυμάτων

Η συχνότητα των αναλύσεων καθορίζεται από τις Προδιαγραφές Διεργασιών, τα Δεδομένα Ελέγχου Δεξαμενών Χημικών Διεργασιών (Process Control Tank Data Sheet – PCTD) και τις προδιαγραφές των πελατών. Η δειγματοληψία από κάθε δεξαμενή πραγματοποιείται από τον Τομέα Ελέγχου Ποιότητας του συνεργείου, ενώ τα δείγματα στέλνονται στην Υπηρεσία Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών για χημική ανάλυση ενώ συνοδεύονται από “Αίτηση για εργαστηριακή ανάλυση” (Lab Request– LRQ). Στην συνέχεια, το έντυπο εργαστηριακής αναφοράς αποστέλλεται στον Επιθεωρητή Ποιοτικού Ελέγχου που έθεσε το αίτημα εργαστηριακής ανάλυσης προκειμένου να επισυναφθεί στον αντίστοιχο σχεδιασμό εργασίας. Διαφορετικά, αρχειοθετείται από τον επιθεωρητή και επιδεικνύεται σε κάθε πιθανή αξιολόγηση.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι εκτός ορίων προδιαγραφής (specification control limit), τότε πραγματοποιούνται οι παρακάτω ενέργειες:

1. Ο αρμόδιος προϊστάμενος φροντίζει για την διακοπή της λειτουργίας της δεξαμενής έως ότου ολοκληρωθούν οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες.

2. Ο αρμόδιος επιθεωρητής του Τομέα Ελέγχου Ποιότητας εκδίδει κόκκινη κάρτα που επικολλάται στην, εκτός ορίων, δεξαμενή.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι εκτός Ορίων Διεργασίας (process control limit) αλλά εντός ορίων Προδιαγραφής, δεν απαιτείται διακοπή της παραγωγής, αλλά μόνο προληπτική συμπλήρωση και επαναφορά εντός των ορίων Διεργασίας.

Εάν απαιτείται οποιαδήποτε προσθήκη σε κάποιο διάλυμα (προληπτική ή διορθωτική), ο αρμόδιος προϊστάμενος είναι υπεύθυνος να υπολογίσει την απαιτούμενη ποσότητα. Η ποσότητα αυτή καταγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο του Φύλλου Περιοδικής Ανάλυσης. Δείγμα από το διορθωμένο διάλυμα αποστέλλεται εκ νέου στην Υπηρεσία Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών για την επιβεβαίωση της προσθήκης και την πραγματοποίηση νέας ανάλυσης.

Σε περίπτωση διακοπής της παραγωγής για διάφορους λόγους (έλλειψη υλικών παραγωγής ή αναλωσίμων εργαστηρίου, έλλειψη μεθοδολογίας αναλύσεων κλπ) ο προϊστάμενος του χώρου ενημερώνεται σχετικά από την Υπηρεσία Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών. Σε όλες τις παραπάνω φάσεις Ανάλυσης / Συμπλήρωσης των διαλυμάτων συμπληρώνονται και τα αντίστοιχα πεδία του Φύλλου Περιοδικών Αναλύσεων.

4.20.3. Πιστοποιήσεις Ειδικών Διεργασιών με Χρήση Δοκιμών

Για κάθε ειδική διεργασία, που απαιτείται πιστοποίηση μέσω δοκιμών, εκπονείται Πλάνο Πιστοποίησης (Qualification Plan, QP) από την Διεύθυνση Διαχείρισης και Ελέγχου Ποιότητας, σε συνεργασία με τον Τομέα Μελετών Ειδικών Διεργασιών & Τεχνολογίας Υλικών. Το Πλάνο περιλαμβάνει στοιχεία όπως περίοδος - μήνας πιστοποίησης, υλικό, διαστάσεις και αριθμός των δοκιμών, προδιαγραφή του πελάτη ή HWI ή το αντίστοιχο PS, στάδια / φάσεις της επεξεργασίας των δοκιμών για κάθε ειδική διεργασία, απαιτούμενες δοκιμές και τον κωδικό του εκάστοτε συνεργείου στο οποίο θα εκτελείται κάθε στάδιο.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών πιστοποίησης αξιολογούνται αρχικά από την Υπηρεσία Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών και αναγράφονται στο Φύλλο Περιοδικών Πιστοποιήσεων. Σε περίπτωση αστοχίας (Rejection) σε δοκιμές πιστοποίησης λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες ενέργειες:

- Ο αρμόδιος προϊστάμενος του Τομέα Παραγωγής διακόπτει αμέσως την παραγωγή και ενημερώνει το εμπλεκόμενο προσωπικό.
- Ο αρμόδιος επιθεωρητής του Τομέα Ελέγχου Ποιότητας εκδίδει κόκκινη κάρτα.

- Ο προϊστάμενος του Τομέα Μελετών Ειδικών Διεργασιών & Τεχνολογίας Υλικών συγκαλεί άμεσα την Ομάδα Ανάλυσης Αστοχίας, με εκπροσώπους από τον Τομέα Παραγωγής Ειδικών Διεργασιών Εργοστασίου, τον Τομέα Ελέγχου Ποιότητας Εργοστασίου, τον Τομέα Μελετών Ειδικών Διεργασιών & Τεχνολογίας Υλικών και την Διεύθυνση Διαχείρισης και Ελέγχου Ποιότητας.

Η Ομάδα Ανάλυσης αστοχίας κρίνει καταρχήν αν η δοκιμή είναι «άκυρη» (βάσει αποδεικτικών στοιχείων) και αποφασίζει για την αντικατάστασή της (Replacement test) και εφόσον έχει αποδειχθεί ότι δεν έχουν επηρεαστεί τα παραγωγικά απάρτια. Αν η δοκιμή δεν θεωρηθεί «άκυρη» γίνεται διερεύνηση των αιτίων της αστοχίας. Τέλος, η ομάδα εισηγείται τις απαιτούμενες διορθωτικές ενέργειες και την διαχείριση των τυχόν επηρεαζόμενων απαρτίων με την έκδοση Discrepancy Report (DR) για την απόρριψή τους. («ΗΑΙ Έλεγχος Ειδικών Διεργασιών», 2024)

4.20.4. Cleaning (Καθαρισμοί)

Πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία, οι επιφάνειες αλουμινίου πρέπει να είναι καθαρές και απαλλαγμένες από οποιοδήποτε υλικό που θα είναι επιζήμιο κατά τη θερμική επεξεργασία. Το τελικό στάδιο καθαρισμού και το επακόλουθο ξέπλυμα πριν από την εφαρμογή οποιασδήποτε χημικής προστατευτικής επεξεργασίας, όπως η επιμετάλλωση, η ανοδίωση, η βαφή ή παρόμοιες διεργασίες, πρέπει να παρέχουν μία χημικά καθαρή επιφάνεια. Η μέθοδος αφαίρεσης διαβρωτικών ή άλλων επιβλαβών ξένων ουσιών (υπολειμμάτων) δεν πρέπει να είναι επιζήμια για την επακόλουθη επεξεργασία ή την ποιότητα του τελικού επεξεργασμένου μέρους.

Όλα τα μέρη πρέπει να στεγνώνουν πλήρως με την ολοκλήρωση της σειράς επεξεργασίας. Χρησιμοποιείται θερμός εξαναγκασμένος αέρας θερμοκρασίας μεταξύ 110°F και 160°F. Ωστόσο, η θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι επιζήμια για το εξάρτημα ή το εφαρμοσμένο φινίρισμα. Τα εξαρτήματα και τα συγκροτήματα αλουμινίου που εγκλωβίζουν διαλύματα καθαρισμού πρέπει να καθαρίζονται με διαλύτες, με γαλάκτωμα ή να έχουν απολιπανθεί μόνο με υδατικό διάλυμα. Επίσης, όλα τα μέρη που έχουν υποστεί επεξεργασία με όξινα ή αλκαλικά υλικά κατά την διάρκεια της επεξεργασίας πρέπει να ξεπλένονται καλά με καθαρό νερό αμέσως μετά από κάθε τέτοια μεμονωμένη επεξεργασία.

Σε καμία περίπτωση οι μηχανικές ιδιότητες, η δομική ακεραιότητα, η αντίσταση στην διάβρωση ή η ποιότητα του εξαρτήματος/απαρτίου δεν πρέπει να έχουν υπολειπόμενη

επιβλαβή επίδραση ως αποτέλεσμα των διαδικασιών καθαρισμού. (“HAI Cleaning of aluminum and aluminum alloys”, 2024)

4.20.5. Χημικό Etching

Το Etching στην αεροπορική βιομηχανία είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται κυρίως για την επιφανειακή επεξεργασία και την βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροσκαφών, όπου εφαρμόζεται ένα ισχυρό χημικό διάλυμα (etchant) προκειμένου να αφαιρεθεί ανεπιθύμητο μέρος από το υλικό του τεμαχίου εργασίας. Αποτελεί κατά βάση μία διαδικασία “επιταχυνόμενης και ελεγχόμενης διάβρωσης”. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό, την προετοιμασία ή την χάραξη του μετάλλου, όπως το αλουμίνιο, πριν από άλλες διαδικασίες, όπως η βαφή ή επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό και οδηγεί σε βελτίωση της πρόσφυση των επιστρωμάτων. (“HAI Alkaline etch cleaning of aluminum alloys”, 2018)

4.20.6. Anodizing (Ανοδίωση)

Ανοδίωση θεικού οξέος

Στην ανοδίωση θεικού οξέος το θεικό οξύ χρησιμοποιείται ως ηλεκτρολύτης όπου το αλουμίνιο βυθίζεται στο οξύ ενώ ένα ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσω του ηλεκτρολύτη προκειμένου να δημιουργήσει στρώμα οξειδίου. Το πάχος του στρώματος οξειδίου εξαρτάται από την ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι, τόσο παχύτερες οι στρώσεις του οξειδίου. Σε αντίθεση με ό,τι ισχύει σε άλλες επιφανειακές επεξεργασίες, η ανοδίωση δεν περιλαμβάνει την εφαρμογή επίστρωσης στην μεταλλική επιφάνεια. Αντιθέτως, το στρώμα οξειδίου δημιουργείται στην επιφάνεια του μετάλλου, ώστε δεν επηρεάζονται οι ιδιότητες του μετάλλου. Το στρώμα αυτό είναι πορώδες, έτσι είναι δυνατό να βαφτεί με διάφορες χρωστικές ή βαφές.

Για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της διαδικασίας χρωματισμού, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου το αλουμίνιο εκτίθεται σε καιρικές συνθήκες ή άλλα διαβρωτικά στοιχεία, το ανοδιωμένο στρώμα σφραγίζεται. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η διαδικασία του εμποτισμού όπου σφραγίζονται οι πόροι στο στρώμα οξειδίου. Αυτό γίνεται με την βύθιση του ανοδιωμένου αλουμινίου σε ένα διάλυμα που αντιδρά με το στρώμα οξειδίου, προκειμένου να δημιουργήσει ένα προστατευτικό στρώμα στην μεταλλική επιφάνεια. (“Τεχνολογία χρωματισμού ανοδικής οξείδωσης προφίλ κράματος αλουμινίου”, 2023)

Ο έλεγχος της επικάλυψης της ανοδίσωσης θεικού οξέος πραγματοποιείται με elco meter thickness gauge όπου μετράται το πάχος. Οι ηλεκτρονικοί αυτοί μετρητές πάχους επίστρωσης χρησιμοποιούν την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Χρησιμοποιείται ένα σύστημα ανιχνευτών τριών πηνίων όπου το κεντρικό πηνίο τροφοδοτείται από το όργανο και τα άλλα δύο πηνία ανιχνεύουν το μαγνητικό πεδίο που προκύπτει.

Η πυκνότητα ρεύματος μετράται με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Τοποθέτηση ενός βαθμονομημένου αμπερομέτρου σε σειρά με μία άνοδο της κατηγορίας των κραμάτων αλουμινίου που ανοδώνεται και υπολογισμός της πυκνότητας ρεύματος.
2. Σε υλικό με μετρήσιμες επιφάνειες, ο προσδιορισμός της πυκνότητας ρεύματος γίνεται από την συνολική επιφάνεια του φορτίου και διαιρώντας το ρεύμα της δεξαμενής με την περιοχή εργασίας.

Η τάση μετράται τοποθετώντας ένα τυπικό βολτόμετρο του εμπορίου κατά μήκος της γραμμής μεταξύ της πρίζας και της δεξαμενής ανοδίσωσης. (“Sulfuric acid anodizing of aluminum and aluminum alloys”-Process Specification, 2024)

Χρωμική Ανοδίσωση

Η χρωμική ανοδίσωση περιλαμβάνει την βύθιση του μεταλλικού απαρτίου σε διάλυμα χρωμικού οξέος. Το φιλμ που λαμβάνεται είναι σχετικά λεπτό και διατηρεί την αρχική ακρίβεια και την τραχύτητα της επιφάνειας του τεμαχίου εργασίας. Το ανοδιωμένο στρώμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς σφράγιση, ενώ η αντίσταση στην διάβρωση είναι ισχυρή και η διαλυτότητα του χρωμίου στο αλουμίνιο είναι μικρή, έτσι ώστε το υπολειμματικό υγρό στις οπές και τις σχισμές να έχει λιγότερη διάβρωση στα διάφορα μέρη. (“Διαδικασία ανοδικής οξείδωσης κράματος αλουμινίου”, n.d.)

Όπως και στην περίπτωση της ανοδίσωσης θεικού οξέος, ο έλεγχος της επικάλυψης της χρωμικής ανοδίσωσης πραγματοποιείται με elco meter thickness gauge όπου μετράται το πάχος. Η πυκνότητα ρεύματος μετράται επίσης όπως και στην θεική ανοδίσωση, ενώ η τάση με ένα τυπικό βολτόμετρο του εμπορίου.

4.20.7. Passivation (Παθητικοποίηση)

Παθητικοποίηση είναι «η απομάκρυνση εξωγενούς σιδήρου ή ενώσεων σιδήρου από την επιφάνεια ενός ανοξειδωτού χάλυβα μέσω χημικής διάλυσης. Ειδικότερα, η διαδικασία πραγματοποιείται με διάλυμα οξέος που αφαιρεί την μόλυνση της επιφάνειας αλλά δεν επηρεάζει σημαντικά τον ίδιο τον ανοξειδωτο χάλυβα. Επιπλέον, η παθητικοποίηση

περιγράφεται ως «η χημική επεξεργασία ενός ανοξειδωτου χάλυβα με ένα ήπιο οξειδωτικό, όπως ένα διάλυμα νιτρικού οξέος, με σκοπό την ενίσχυση του σχηματισμού του προστατευτικού παθητικού φιλμ». Έτσι, αφαιρείται η μόλυνση «ελεύθερου σιδήρου» που μένει πίσω στην επιφάνεια του ανοξειδωτου χάλυβα ως αποτέλεσμα των διαδικασιών κατεργασίας και κατασκευής και έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη διάβρωση και τελικά την φθορά του εξαρτήματος/απαρτίου. Επί πλέον, η διαδικασία της παθητικοποίησης διευκολύνει τον σχηματισμό μίας πολύ λεπτής, διαφανούς μεμβράνης οξειδίου, η οποία προστατεύει τον ανοξειδωτο χάλυβα από την οξείδωση (διάβρωση). (Englebert, n.d.)

Ο έλεγχος για το Passivation πραγματοποιείται από τον επιθεωρητή οπτικά, αλλά και με το copper sulfate test. Το τεστ αυτό θεικού χαλκού, ελέγχει την αποτελεσματικότητα της παθητικοποίησης, αφού βασίζεται σε μία οξείδωση-αναγωγή που προκαλεί την εναπόθεση των διαλυμένων ιόντων χαλκού πάνω στα ελεύθερα σωματίδια σιδήρου.

4.20.8. Alodine (Chemfilm)

Το Alodine είναι μία επίστρωση χημικής μετατροπής (chemical conversion coating). Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του αλουμινίου από την διάβρωση και χρησιμεύει ως βάση για τις επιστρώσεις βαφής. Το χημικό αυτό φιλμ εφαρμόζεται με εμβάπτιση, βούρτσισμα ή με ψεκασμό. Μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την πρόσφυση τόσο της βαφής όσο και του ασταριού, αρκεί να εφαρμοστεί στην επιφάνεια του αλουμινίου πριν από το αστάρι. Εκτός από την προστασία από την διάβρωση που μπορεί να προσφέρει, καθώς και την δημιουργία βάσης για μεταγενέστερη βαφή, η χημική μεμβράνη προστατεύει επίσης το αλουμίνιο από την απώλεια ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Πέρα από το αλουμίνιο, μέταλλα όπως ο χαλκός, το κάδμιο, ο κασσίτερος, το μαγνήσιο και ο επιψευδαργυρωμένος χάλυβας και τα υποστρώματα σιδήρου, μπορούν επίσης να επωφεληθούν από αυτού του είδους την επίστρωση alodine, αφού μετά την εφαρμογή, το πάχος της επικάλυψης δεν αλλάζει καθόλου τις διαστάσεις των εξαρτημάτων. (Fredericks, n.d.)

Ο έλεγχος που πραγματοποιείται από τον επιθεωρητή μετά την επίστρωση του Alodine είναι οπτικός.

4.20.9. Επικαδμίωση (Cadmium Coating)

Η επιμετάλλωση με κάδμιο είναι η διαδικασία επίστρωσης που χρησιμοποιείται σε εξαρτήματα/απάρτια από χάλυβα για προστασία από την διάβρωση. Προσφέρει διάφορα τεχνικά πλεονεκτήματα που περιλαμβάνουν χαμηλά επίπεδα γαλβανικής διάβρωσης όταν

έρχεται σε επαφή με αλουμίνιο. Παρέχει επίσης αντοχή στην διάβρωση σε υδάτινα περιβάλλοντα. Οι επιφάνειες των πλακών καδμίου είναι επίσης ανθεκτικές στην ανάπτυξη μούχλας και βακτηρίων. Είναι εύκαμπτο και μπορεί να συγκολληθεί σχεδόν εξίσου καλά με κασσίτερο. Η επιμετάλλωση με κάδμιο παρέχει επίσης εξαιρετική λιπαντικότητα, εξαιρετική αγωγιμότητα, πρόληψη σκουριάς και χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση επαφής. Η ελκυστική λευκή του λάμψη είναι παρόμοια με την ασημένια επένδυση. (Fredericks, n.d.)

Ο έλεγχος της επικάλυψης από τον επιθεωρητή πραγματοποιείται με elco meter thickness gauge όπου μετράται το πάχος, η πυκνότητα ρεύματος όπως στην ανοδίωση θεικού οξέος με αμπερόμετρο και η τάση με ένα τυπικό βολτόμετρο του εμπορίου.

4.21. Μη καταστροφικές δοκιμές (Non Destructive Inspection-NDI)

4.21.1. Magnetic Particle Inspection (MPI)

Ο μαγνητικός έλεγχος είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους μη καταστροφικών δοκιμών (NDT) και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ελαττωμάτων στην επιφάνεια των σιδηρομαγνητικών υλικών μέσω της διοχέτευσης ενός μαγνητικού ρεύματος μέσω αυτής. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ελαττωμάτων ακριβώς κάτω από την επιφάνεια των υλικών. Οι τύποι ελαττωμάτων που μπορεί να ανιχνεύσει περιλαμβάνουν ρωγμές, πόρους και την έλλειψη τήξης του πλευρικού τοιχώματος στις συγκολλήσεις.

Οι επιθεωρήσεις μαγνητικών σωματιδίων λειτουργούν διοχετεύοντας ένα μαγνητικό ρεύμα μέσω του υλικού που επιθεωρείται. Εάν το μαγνητισμένο αντικείμενο δεν έχει ελαττώματα, το μαγνητικό πεδίο θα μεταφερθεί σε όλο το υλικό χωρίς ασυνέχειες ή διακοπές. Αλλά όταν το ρεύμα συναντήσει ελαττώματα στο υλικό θα διακοπεί, με αποτέλεσμα να εξαπλωθεί από αυτό το σημείο και να δημιουργήσει αυτό που ονομάζεται πεδίο διαρροής ροής. Μόλις το υλικό μαγνητιστεί και τα ελαττώματα έχουν δημιουργήσει αυτά τα πεδία διαρροής δευτερεύουσας ροής, οι επιθεωρητές απλώνουν μαγνητικά σωματίδια στην επιφάνεια. Τα σωματίδια έλκονται στα δευτερεύοντα πεδία, καθιστώντας τα ελαττώματα ορατά με γυμνό μάτι. (“Magnetic Particle Inspections: A Guide”, n.d.)

Ωστόσο, λειτουργεί μόνο σε υλικά που μπορούν να μαγνητιστούν - που ονομάζονται σιδηρομαγνητικά υλικά - επομένως οι εφαρμογές του είναι κάπως περιορισμένες. Μερικά παραδείγματα σιδηρομαγνητικών υλικών περιλαμβάνουν χάλυβα, κοβάλτιο, σίδηρο και νικέλιο. Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, στο εργοστάσιο Αεροκατασκευών, η επιθεώρηση μαγνητικών σωματιδίων χρησιμοποιείται σε σιδηρομαγνητικά μέρη,

εξαιρουμένων των ανοξείδωτων χαλύβων που σκληρύνουν με καθίζηση, χρησιμοποιώντας την μέθοδο επιθεώρησης μαγνητικών σωματιδίων υγρού – συνεχούς φθορισμού, ενώ πραγματοποιείται μετά την επιμετάλλωση με κάδμιο. (“Magnetic Particle Testing (MT) for C-130J program”-HAI Written Procedure, 2024)

4.21.2. Fluorescent Penetrant Inspection (FPI)

Η επιθεώρηση διεισδυτικού φθορισμού αποτελεί μία μέθοδο μη καταστροφικής δοκιμής (NDT), η οποία αφήνει ανέπαφο το επιθεωρούμενο υλικό. Στο FPI, μία φθορίζουσα βαφή, που ονομάζεται διεισδυτικό, εφαρμόζεται στην επιφάνεια του υλικού. Η περίσσεια διεισδυτικού αφαιρείται και εφαρμόζεται ένας «προγραμματιστής» (developer). Ο σκοπός του developer είναι να τραβήξει αποτελεσματικά το διεισδυτικό από ένα ελάττωμα για να μπορέσει να το δει ένας επιθεωρητής. Η ενέργεια της έλξης του πίσω στην επιφάνεια, επιτρέπει επίσης στο διεισδυτικό να εξαπλωθεί κατά μήκος της επιφάνειας γύρω από το ελάττωμα, μεγεθύνοντας έτσι την ισχύ της ένδειξης. Όταν το υπό μελέτη απάρτιο τοποθετείται κάτω από υπεριώδες φως, τα ελαττώματα της επιφάνειας, όπως ρωγμές, σπασίματα και ραφές, «τονίζονται» και έτσι γίνονται ορατά στον επιθεωρητή που πραγματοποιεί την διαδικασία. (“Beginner’s Guide to Fluorescent Penetrant Inspections”, n.d.)

Στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία η μέθοδος FPI χρησιμοποιείται για τα υλικά βάσει της προδιαγραφής AMS2644. Η προδιαγραφή αυτή καθορίζει την ταξινόμηση, τις τεχνικές απαιτήσεις, τις δοκιμές και τις διαδικασίες δοκιμών για την πιστοποίηση, έγκριση και την επαλήθευση ποιότητας όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους επιθεώρησης με διεισδυτικά υγρών. (“Fluorescent Penetrant Inspection for C-130J Program”- HAI Written Procedure, 2024)

4.22. Heat Treatment (Θερμική Επεξεργασία)

Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η μείωση της πίεσης στα μεταλλικά μέρη για την ενίσχυση της αντοχής και της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων είναι κρίσιμη για να διασφαλιστεί ότι τα εξαρτήματα ανταποκρίνονται στις ακραίες απαιτήσεις των αεροδιαστημικών εφαρμογών. Για την ενίσχυση της αντοχής και την κάλυψη των ακριβών απαιτήσεων και προδιαγραφών που απαιτούνται από τις αεροδιαστημικές εφαρμογές, η θερμική επεξεργασία είναι ένα ουσιαστικό βήμα στη διαδικασία παραγωγής.

Η θερμική επεξεργασία είναι η εφαρμογή θερμότητας ή κρύου για την αλλαγή των μεταλλουργικών ιδιοτήτων ενός μεταλλικού τμήματος. Η επεξεργασία εφαρμόζεται για να

σκληρύνει, να μαλακώσει ή να ανακουφίσει την πίεση στο μέταλλο χωρίς να αλλάξει το σχήμα του εξαρτήματος. Εκτός από την αύξηση της αντοχής ενός μεταλλικού εξαρτήματος, η θερμική επεξεργασία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της μηχανικής κατεργασίας, την βελτίωση της μορφοποίησης ή την αποκατάσταση της ολκιμότητας μετά από μια λειτουργία ψυχρής διαμόρφωσης, όπως υδροδιαμόρφωση, σχηματισμός μπλοκ, σχηματισμός κυψελών ρευστού ή σφράγιση βαθιάς έλξης.

Οι εργασίες θερμικής επεξεργασίας αλουμινίου περιλαμβάνουν:

- **Aging (γήρανση)**
- **Air quenching** (μία ταχεία διαδικασία ψύξης που χρησιμοποιεί εξαναγκασμένο αέρα ή αδρανές αέριο για να μειώσει την θερμοκρασία του θερμαινόμενου μετάλλου)
- **Hot and cold water quenching** (διαδικασία ψύξης με ζεστό και κρύο νερό)
- **Glycol quenching**(διαδικασία ψύξης με γλυκόλη)
- **Annealing** (ανόπτηση, η θερμική κατεργασία στην οποία υποβάλλεται ένα μέταλλο ή κράμμα, προκειμένου στην συνέχεια υποβαλλόμενο σε ψύξη να βελτιωθεί η ευκαμψία του)
- **Hardening** (σκληρυνση)
- **Solution treatment** (Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας διαλύματος είναι να διαλύσει τυχόν ιζήματα που υπάρχουν στο υλικό και να το μετατρέψει σε μία μονοφασική δομή).
- **Stress relieving** (Η ανακούφιση από τάσεις χρησιμοποιείται συνήθως για την αφαίρεση των υπολειμματικών τάσεων που έχουν συσσωρευτεί από προηγούμενες διαδικασίες παραγωγής).

Για τον χάλυβα και τα σιδηρούχα κράματα, οι εργασίες θερμικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν:

- **Annealing** (ανόπτηση)
- **Solution treatment** (επεξεργασία διαλύματος)
- **Stress relieving** (ανακούφιση από τάσεις)
- **Tempering** (τεχνική θερμικής επεξεργασίας που εφαρμόζεται σε σιδηρούχα κράματα, όπως ο χάλυβας ή ο χυτοσίδηρος, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη σκληρότητα μειώνοντας την σκληρότητα του κράματος. Η μείωση της σκληρότητας συνήθως συνοδεύεται από αύξηση της ολκιμότητας, μειώνοντας έτσι την ευθραυστότητα του μετάλλου).

(“Heat treating for the aerospace industry”, n.d.)

4.22.1. Χαρακτηρισμοί θερμοκρασίας

Οι χαρακτηρισμοί θερμοκρασίας είναι αλφαριθμητικοί. Προστίθενται μετά τον τετραψήφιο χαρακτηρισμό του κράματος. Ένα παράδειγμα είναι το 6061-T6.

Οι χαρακτηρισμοί θερμοκρασίας δηλώνουν πώς το κράμα έχει υποστεί μηχανική ή/και θερμική επεξεργασία για να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες. Ο πρώτος χαρακτήρας στον προσδιορισμό της ιδιοσυγκρασίας (ένα κεφαλαίο γράμμα, F, O, H, W ή T) υποδεικνύει την γενική κατηγορία θεραπείας.

- **F: Όπως κατασκευάστηκε**

Τα περισσότερα προϊόντα F-temper είναι «ημικατεργασμένα» προϊόντα. Χρησιμοποιούνται στην διαμόρφωση, το φινίρισμα ή τις θερμικές διεργασίες για την επίτευξη άλλων τελικών μορφών.

- **O: Ανόπτηση**

Οι επεξεργασίες ανόπτησης χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της συνθήκης χαμηλότερης αντοχής για το κράμα. Ο κύριος λόγος είναι η μεγιστοποίηση της ελαστικότητας ή η αύξηση της σκληρότητας και της ολκιμότητας.

- **H: Σκλήρυνση με παραμόρφωση**

Αυτό ισχύει για μη θερμικά επεξεργάσιμα κράματα που έχει αυξηθεί η αντοχή τους με σκλήρυνση λόγω παραμόρφωσης, συνήθως σε θερμοκρασία δωματίου.

- **W: Θερμικά επεξεργασμένο διάλυμα**

Αυτή η ονομασία ισχύει μόνο για κράματα που έχουν υποστεί φυσική γήρανση και αυθόρμητα, μετά από θερμική επεξεργασία διαλύματος. Σπάνια πρόκειται για τελική θέρμανση.

- **T: Θερμικά επεξεργασμένο**

Αυτό ισχύει για οποιοδήποτε θερμικά επεξεργασμένο κράμα που έχει υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία διαλύματος και ακολουθείται από ψύξη και γήρανση. (Koch, 2020)

4.22.2. T-Tempers για θερμικά επεξεργασμένα σφυρήλατα κράματα αλουμινίου

Το T ακολουθείται πάντα από ένα ή περισσότερα ψηφία. Οι αριθμοί 1 έως 10 υποδεικνύουν συγκεκριμένες αλληλουχίες θεραπειών:

- T1 Φυσική γήρανση σε μια ουσιαστικά σταθερή κατάσταση.
- T2 Ανόπτηση (μόνο χυτά προϊόντα) για την βελτίωση της ολκιμότητας και την αύξηση της σταθερότητας των διαστάσεων.
- Διάλυμα T3 θερμικά επεξεργασμένο, που έχει υποστεί ψυχρή κατεργασία και φυσικά παλαιωμένο σε μία ουσιαστικά σταθερή κατάσταση.
- Διάλυμα T4 θερμικά επεξεργασμένο και φυσικά παλαιωμένο σε μία ουσιαστικά σταθερή κατάσταση. Ισχύει για προϊόντα που δεν έχουν υποστεί ψυχρή επεξεργασία μετά από θερμική επεξεργασία διαλύματος.
- T5 Μόνο τεχνητή γήρανση.
- T6 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και τεχνητή γήρανση. Ισχύει για προϊόντα που δεν έχουν υποστεί ψυχρή επεξεργασία μετά από θερμική επεξεργασία διαλύματος.
- T7 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και τεχνητή γήρανση πέρα από την προϋπόθεση της μέγιστης αντοχής, ώστε να παρέχει ελεγχόμενα ειδικά χαρακτηριστικά, όπως σταθερότητα διαστάσεων, χαμηλότερες υπολειμματικές τάσεις ή βελτιωμένη αντοχή στην διάβρωση.
- T8 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο, που έχει υποστεί ψυχρή κατεργασία και τεχνητή γήρανση. Ισχύει για προϊόντα που υποβάλλονται σε ψυχρή κατεργασία για βελτίωση της αντοχής.
- T9 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο, τεχνητά παλαιωμένο και με ψυχρή κατεργασία. Ισχύει για προϊόντα που έχουν υποστεί ψυχρή επεξεργασία ως την τελική λειτουργία, για βελτίωση της αντοχής.
- T10 Τεχνητή γήρανση και ψυχρή κατεργασία. Ισχύει για προϊόντα που παλαιώνονται τεχνητά μετά από μια διαδικασία κατασκευής υψηλής θερμοκρασίας, γρήγορης ψύξης, όπως χύτευση ή εξώθηση, και στη συνέχεια κρύα επεξεργασία για βελτίωση της αντοχής.

Οι ακόλουθες ονομασίες που περιλαμβάνουν πρόσθετα ψηφία αποδίδονται σε σφυρήλατα προϊόντα που έχουν ανακουφιστεί από μηχανικές τάσεις:

- Tx51 Διαδικασία ανακούφισης τάσεων με διατάσεις (α). Πρόσθετα ψηφία χρησιμοποιούνται στις ονομασίες για εξωθημένη ράβδο, ράβδο, σχήματα και σωλήνα ως εξής: Το Tx510 ισχύει για προϊόντα που δεν ισιώνονται περαιτέρω μετά το τέντωμα. Το Tx511 ισχύει για προϊόντα που δέχονται μικρό ίσιωμα μετά από τέντωμα ώστε να συμμορφώνονται με τις τυπικές ανοχές ευθύτητας.

- Tx52 Διαδικασία ανακούφισης τάσεων με συμπίεση (α). Ισχύει για προϊόντα που ανακουφίζονται από την πίεση με συμπίεση μετά από θερμική επεξεργασία διαλύματος.
- Tx53 Διαδικασία ανακούφισης τάσεων από θερμική επεξεργασία (α).

Σε όλα τα παραπάνω, το γράμμα x αντιπροσωπεύει τα ψηφία 3, 4, 6 ή 8.

Οι παρακάτω χαρακτηρισμοί θερμοκρασίας αποδίδονται σε ορισμένα σφυρήλατα προϊόντα που υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία από τον χρήστη:

- T42 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο.
- T62 Διάλυμα θερμικά επεξεργασμένο και τεχνητά παλαιωμένο. (“Temper Designation System for Heat Treatable Aluminium Alloys”, 2001)

4.23. Hot Forming

Τα σύνθετα εξαρτήματα στα αεροσκάφη είναι εξαιρετικά δύσκολο να σχηματιστούν με τις παραδοσιακές διαδικασίες ψυχρής διαμόρφωσης λόγω της χαμηλής ολκιμότητάς τους σε θερμοκρασία δωματίου. Όταν σχηματίζονται ψυχρά, τα εξαρτήματα συχνά παρουσιάζουν μεγάλες παραμορφώσεις και απαιτούν εργασία με το χέρι προκειμένου οι διαστάσεις τους να είναι μέσα στις ανοχές που ορίζουν οι προδιαγραφές και τα μηχανολογικά σχέδια, αυξάνοντας σημαντικά το κόστος του εξαρτήματος. Στην περίπτωση των κατεργασμένων εξαρτημάτων, υπάρχει μεγάλη ποσότητα σπατάλης υλικού. Και οι αυτές δύο διαδικασίες είναι αρκετά χρονοβόρες.

Όσον αφορά τα κράματα αλουμινίου κατά την μορφοποίησή τους (forming) σε θερμοκρασία δωματίου, όπως στις συμβατικές διεργασίες λαμαρίνας, παρουσιάζουν πολύ χαμηλή ικανότητα μορφοποίησης και αξιοσημείωτο spring back (η ικανότητα ή η τάση ενός λυγισμένου ή διαμορφωμένου ελαστικού υλικού όπως ένα μέταλλο, να επανέλθει στην αρχική του μορφή) ειδικά αν πρόκειται για μία σύνθετη γεωμετρία. Ωστόσο, η απόδοση βελτιώνεται όταν η διαμόρφωση πραγματοποιείται σε υψηλή θερμοκρασία.

Κατά το hot forming (θερμή διαμόρφωση), ένα τεμάχιο θερμαίνεται στην θερμοκρασία Θερμικής Επεξεργασίας Διαλύματος (SHT-Solution Heat Treatment) και εμποτίζεται για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο για να διαλυθούν τα αρχικά χονδροειδή ιζήματα και διαλυτά εγκλείσματα και να ληφθεί η βέλτιστη μικροδομή. Στη συνέχεια, το τεμάχιο μεταφέρεται γρήγορα στην πρέσα, σφραγίζεται και διατηρείται για σύντομο χρονικό διάστημα μεταξύ των ψυχρών καλουπιών. Το ακατέργαστο τεμάχιο είναι πιο όλκιμο σε υψηλές θερμοκρασίες και η

χρήση ψυχρής σβέσης μήτρας μπορεί να επιτύχει ρυθμό ψύξης αρκετά γρήγορο ώστε να αποτραπεί ο σχηματισμός χονδροειδούς δευτερογενούς φάσης στα όρια των κόκκων και να ληφθεί μια κατάσταση υπερ-κορεσμένου στερεού διαλύματος στο διαμορφωμένο τμήμα.(Atxaga, Arroyo & Canflanca, 2022)

Θερμή διαμόρφωση (hot forming) μπορεί να γίνει σε κράματα αλουμινίου, χάλυβα χαμηλής και υψηλής κραματοποίησης, ανοξείδωτους χάλυβες και κράματα νικελίου. Πριν και μετά την διαδικασία του hot forming, για τα αλουμίνια της σειράς 7000 (κράμα με ψευδάργυρο) απαιτείται μέτρηση σκληρότητας (hardness) και αγωγιμότητας (conductivity) από τον επιθεωρητή (τουλάχιστον 3 μετρήσεις στην θερμαινόμενη περιοχή κάθε φορά), καθώς και Fluorescent Penetrant Inspection (FPI) μετά την διαμόρφωση. Για τα υπόλοιπα κράματα αλουμινίου εφαρμόζεται μόνο FPI μετά την θερμή διαμόρφωση. Για τον κοινό χάλυβα και τον ανοξείδωτο χάλυβα απαιτείται Magnetic Particle Inspection (MPI) με την ολοκλήρωση της διαδικασίας. (“Forming and Fabrication of Metallic Parts” Process Specification, 2022)

4.24. Βαφή (Paint)

Η βαφή στα αεροσκάφη χρησιμοποιείται για την προστασία της επιφάνειας του υλικού από το να σχηματίσει μία ξηρή μεμβράνη λόγω της υγρασίας, του διηλεκτρικού φαινομένου, των ηχητικών κυμάτων, της ροής του αέρα και της διάβρωσης. Η βασική αρχή της εφαρμογής αντιδιαβρωτικής ουσίας είναι η απομάκρυνση της υγρασίας, του αέρα και των χημικών από την επιφάνεια.(Cherdpong, Chinnawat & Thanayot, 2020)

Πριν την εφαρμογή της βαφής, όλες οι επιφάνειες αλουμινίου πρέπει να υποστούν ανοδίωση ή επίστρωση χημικής μετατροπής (chemical conversion coating) με alodine. Η εφαρμογή του primer πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσα σε 24 ώρες, σε διαφορετική περίπτωση οι επιφάνειες πρέπει να καθαριστούν με καθαρά πανιά και εγκεκριμένο διαλυτικό.

Στην περίπτωση που βάσει προδιαγραφής απαιτείται η εφαρμογή topcoat, δηλαδή μία τελική επίστρωση πάνω από το αστάρι, προκειμένου να παρέχει καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα, την επιθυμητή εμφάνιση (χρώμα, γυαλάδα, δομή) στην βαμμένη μονάδα, πρόσθετη προστασία από τις καιρικές συνθήκες και βοήθεια σε άλλες απαιτήσεις απόδοσης, η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε 24 ώρες από το primer, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20-25°C και υγρασίας 40-60%. (Curing). Αν ωστόσο παρέλθουν 24 ώρες από την εφαρμογή του ασταριού, προκειμένου να εφαρμοστεί topcoat, είναι αναγκαίο το κομμάτι

να τριφτεί με λειαντικά επιθέματα και εν συνεχεία να πλυθεί εκ νέου με διαλυτικό. (“HAI Application of epoxy primer –How To Work Instruction, 2024).Υπάρχει και η δυνατότητα του “force curing”, όπου η διαδικασία πραγματοποιείται μετά από 1 με 2 ώρες από το primer, σε συνθήκες θερμοκρασίας 60°C σε φούρνο για μία ώρα και υγρασίας 10-15%.

Η επιθεώρηση για την εφαρμογή του primerκαι του topcoatπραγματοποιείται αρχικά με οπτικό έλεγχο (για “τρεξίματα”, φουσκάλες κλπ) ενώ το πάχος της βαφής μετράται με το ηλεκτρονικό όργανο elcometer.

4.25. Marking (Σήμανση)

Πάνω σε όλα τα εξαρτήματα / απάρτια, απαιτείται σήμανση η οποία να είναι ευανάγνωστη, σωστή σε περιεχόμενο και μέγεθος και στο σωστό σημείο, σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές. Ειδικότερα για τα detail απάρτια, η σήμανση πρέπει να γίνει μέσα σε 72 ώρες από το primer ή την βαφή, με εγκεκριμένο ειδικό μελάνι. Η σήμανση περιλαμβάνει τον κωδικό CAGE δραστηριότητας σχεδιασμού ακολουθούμενο από μια παύλα (-), ακολουθούμενη από τον αριθμό εξαρτήματος (Αριθμός μηχανικού σχεδίου συμπεριλαμβανομένου του ισχύοντος αριθμού παύλας). Εάν ο κατασκευαστής είναι διαφορετικός από την δραστηριότητα σχεδιασμού, ο κωδικός CAGE του κατασκευαστή προστίθεται στην αναγνωριστική σήμανση και προτάσσεται με τα γράμματα «MFR». Η ημερομηνία κατασκευής ακολουθεί την μορφή ημέρας/μήνας/έτος (ηη/μμ/εεεε), όπως στην εικόνα 4.12.(“Marking parts and assemblies for identification and inspection”-Process Specification, 2024)

1 st line:	The Design activity CAGE code followed by the Part No.:	(example: 98897-XXXXXX-X)
2 nd line:	Manufacturer and NATO CODE.:	(example: MFR G0808)
3 rd line:	day/month/year.:	(example: 04/04/2011)
4 th line:	Shop Order No. (a.k.a. Batch No) space permitting:	(example: S/O 12345678)

Εικόνα 4.12. Παράδειγμα Σήμανσης / Marking στο απάρτιο (Hellenic Aerospace Industry, 2024)

4.26. Τελικός έλεγχος (Final) απαρτίου

Με την ολοκλήρωση του κύκλου κατασκευής, το απάρτιο υποβάλλεται στον τελικό έλεγχο από επιθεωρητή προκειμένου να είναι έτοιμο προς παράδοση στον πελάτη. Η επιθεώρηση εξασφαλίζει ότι τυχόν ελαττώματα, αποκλίσεις που μπορεί να σημειώθηκαν σε προηγούμενες επιθεωρήσεις και τυχόν δυσλειτουργίες ή μη ικανοποιητικές συνθήκες έχουν διορθωθεί, ενώ διασφαλίζει ότι όλα τα έγγραφα εργασίας έχουν υπογραφεί και ολοκληρωθεί σωστά.

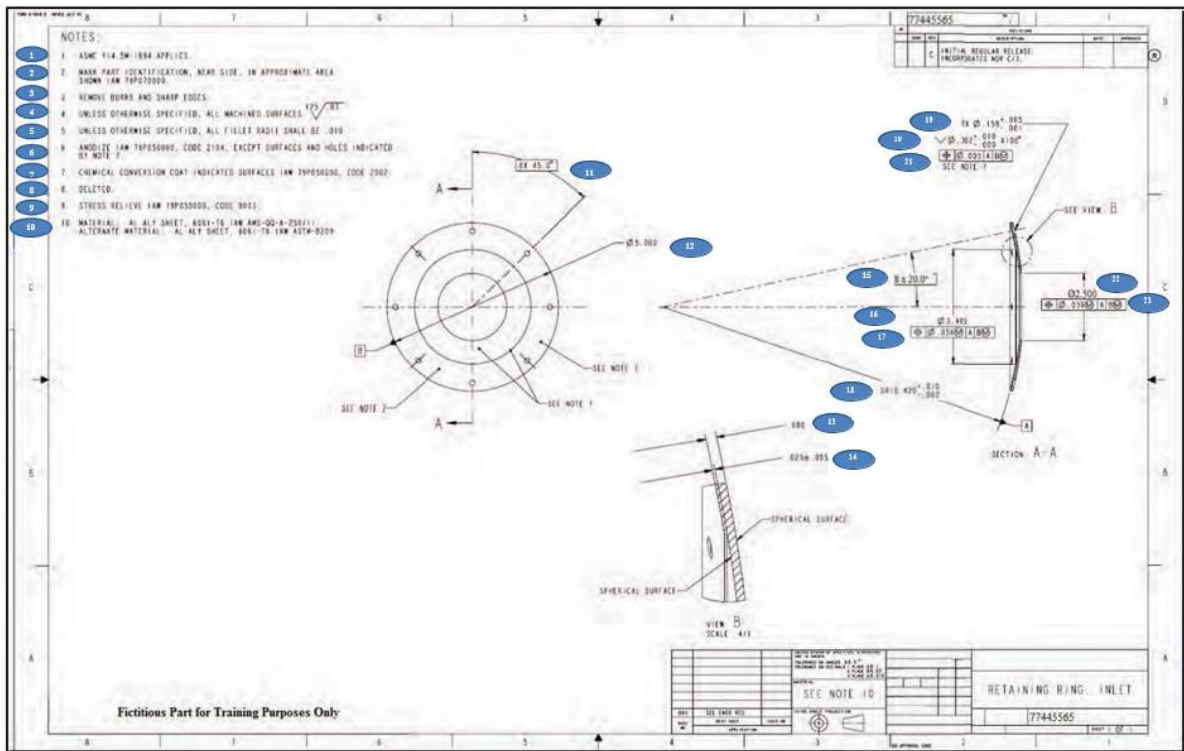
Ο επιθεωρητής επαληθεύει την σωστή ολοκλήρωση όλων των προηγούμενων βημάτων παραγωγής και επιθεώρησης που καθορίζονται στο πλάνο εργασιών και την συμμόρφωσή τους με τα μηχανολογικά σχέδια, τις προδιαγραφές και τα εργαλεία ελέγχου (κύρια εργαλεία).

Μετά από τις τελικές διεργασίες, ο επιθεωρητής πραγματοποιεί οπτικό έλεγχο του απαρτίου, κλείνει το πλάνο εργασιών με σφράγιση / χρονολόγηση και ελέγχει την σήμανση (marking) του απαρτίου όπως απαιτείται. ("Final Inspection-Standard Procedures & Instructions", 2024)

4.27. Ετοιμασία First Article Inspection Report

4.27.1. Ballooning

Κατά την διεξαγωγή του FAI χρησιμοποιείται μία κοινή τεχνική που ονομάζεται "ballooning" (Εικόνα 4.13.) για τον προσδιορισμό κάθε χαρακτηριστικού στο σχέδιο. Αποτελεί μία οργανωμένη μέθοδο για την συλλογή αντικειμενικών αποδεικτικών στοιχείων ότι κάθε απαίτηση του μηχανολογικού σχεδίου πληρούται. Το "ballooning" συνιστάται για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια και η πληρότητα, καθώς πραγματοποιείται αρίθμηση και επισήμανση (συνήθως με κυκλική σήμανση) όλων των χαρακτηριστικών σε ένα μηχανολογικό σχέδιο ή τεχνική προδιαγραφή. Κάθε χαρακτηριστικό ή απαίτηση λαμβάνει έναν μοναδικό αριθμό, ο οποίος αναφέρεται στον αντίστοιχο έλεγχο ή μέτρηση στο έντυπο FAI. Είναι σύνηθες να υποβάλλεται ένα σχέδιο με "ballooning" του αποδεκτού FAI ως μέρος του επίσημα τεκμηριωμένου πακέτου FAI. Μία εναλλακτική μέθοδος για το "ballooning" είναι η αναφορά σε φύλλο σχεδίασης των θέσεων ζώνης του μηχανολογικού σχεδίου. (Lockheed Martin, 2023)



Εικόνα 4.13. Παράδειγμα "Ballooning" σε σχέδιο συναρμολόγησης (Lockheed Martin, 2023)

4.27.2. Συμπλήρωση Φόρμας 1(AS9102 Form 1) -Part Number Accountability

Στην Φόρμα 1 του First Article Inspection Report συμπληρώνονται τα εξής πεδία:

1. Part Number του απαρτίου
2. Part Name του απαρτίου: Όνομα ανταλλακτικού
3. Serial Number: Σειριακός αριθμός
4. FAIR Identifier: Αναγνωριστικό για την Έκθεση Επιθεώρησης Πρωτότυπου Απαρτίου (FAIR).
5. Part Revision Level: Το επίπεδο αναθεώρησης του τμήματος FAI που επιθεωρείται.
6. Drawing Number: Αριθμός σχεδίου
7. Drawing Revision Level: Επίπεδο αναθεώρησης σχεδίου που σχετίζεται με το τμήμα FAI.
8. Additional Changes: Πρόσθετες αλλαγές-Αριθμοί αναφοράς για τυχόν αλλαγές που ενσωματώνονται στο προϊόν, αλλά δεν αντικατοπτρίζονται στο αναφερόμενο επίπεδο αναθεώρησης σχεδίου/εξαρτήματος (π.χ. αλλαγή στο σχεδιασμό, αλλαγές μηχανικής, αλλαγές κατασκευής, απόκλιση ή εξαίρεση από συγκεκριμένο σχέδιο ή απαιτήσεις).

9. Manufacturing Process Reference: Αναφορά διαδικασίας κατασκευής, Αριθμός αναφοράς που παρέχει ιχνηλασιμότητα στο αρχείο κατασκευής του τμήματος FAI (π.χ. Shop Order πλάνου εργασιών).

10. Organization Name : Όνομα του οργανισμού που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών του προϊόντος και την εκτέλεση της FAI.

11. Supplier Code: Κωδικός Προμηθευτή

12. Purchase Order Number: Αριθμός παραγγελίας αγοράς

13. Detail Part /Assembly FAI: Λεπτομέρεια/Συναρμολόγηση - Τύπος FAI κατά περίπτωση.

14. Full FAI/Partial FAI: Πλήρης FAI/Μερική FAI

15. Part Number: Αριθμός ανταλλακτικού που περιλαμβάνεται στην συναρμολόγηση και στοιχεία από το μηχανικό ή/και κατασκευαστικό Bill of Materials (BOM) που περιλαμβάνονται στο σχέδιο ή το συγκρότημα επόμενου επιπέδου. Συνήθως, αυτοί είναι οι αριθμοί εξαρτημάτων, οι τυπικοί αριθμοί ειδών καταλόγου, η αναγνώριση παραδοτέου ή ενσωματωμένου λογισμικού ή οι αριθμοί υποσυγκρότησης που απαιτούνται για την ολοκλήρωση του προϊόντος που σημειώνεται στο πεδίο 1.

16. Part Name: Όνομα ανταλλακτικού - Όνομα ή περιγραφή του αριθμού εξαρτήματος που έχει εισαχθεί στο πεδίο 15 που είναι εγκατεστημένο στη διάταξη.

17. Part Type: Τύπος ανταλλακτικού εάν το εξάρτημα είναι λεπτομερές εξάρτημα, υποσυγκρότημα, λογισμικό, τυπικό στοιχείο καταλόγου ή COTS (ή ισοδύναμο).

18. FAIR Identifier για τα εξαρτήματα λεπτομερειών και τα σχετικά συγκροτήματα.

19. Does a FAIR Contain a Documented Nonconformance(s)? Το FAIR περιέχει τεκμηριωμένη μη συμμόρφωση; Όταν μία μη συμμόρφωση έχει τεκμηριωθεί στο FAIR, επιλέξτε «Ναι»

20. FAIR Verified By: Η ευανάγνωστη ταυτότητα του ατόμου που επαληθεύει τις δραστηριότητες αξιολόγησης. Η ηλεκτρονική αναγνώριση είναι αποδεκτή.

21. Date: Ημερομηνία συμπλήρωσης του πεδίου 20.

22. FAIR Reviewed / Approved By: FAIR Εξετάστηκε/Εγκρίθηκε από: Ευανάγνωστη ταυτότητα του ατόμου από τον οργανισμό που εξέτασε και ενέκρινε το FAIR. Δεν πρέπει να είναι το ίδιο άτομο που προσδιορίζεται στο πεδίο 20. Η ηλεκτρονική ταυτοποίηση είναι αποδεκτή.

23. Date: Ημερομηνία συμπλήρωσης του πεδίου 22.

24. Customer Approval: Έγκριση πελάτη. Χρησιμοποιείται από τον πελάτη για την καταγραφή της έγκρισης. Η ηλεκτρονική αναγνώριση είναι αποδεκτή.

25. Date: Ημερομηνία συμπλήρωσης του πεδίου 24.

26. Comments: Σχόλια π.χ. συσχετισμένες πληροφορίες μη συμμόρφωσης, ταυτοποίηση σχετικής τεκμηρίωσης.

4.27.3. Συμπλήρωση Φόρμας 2 (AS9102 Form 2) - Special Processes and Functional Testing

Στην Φόρμα 2 του First Article Inspection Report συμπληρώνονται τα εξής πεδία:

1. Part Number: Αριθμός ανταλλακτικού.

2. Part Name: Όνομα ανταλλακτικού.

3. Serial Number: Σειριακός αριθμός - Αριθμός σειράς/Αριθμός παρτίδας του τμήματος FAI.

4. FAIR Identifier: Αναγνωριστικό FAIR: Αναγνωριστικό για την Έκθεση Επιθεώρησης Πρωτότυπου Απαρτίου (FAIR).

5. Material or Process Name: Όνομα υλικού ή διεργασίας (π.χ. πρώτες ύλες, χρώμα, κόλλες ασταριού, πληρωτικό συγκόλλησης) ή ειδικές διεργασίες.

6. Specification Number: Αριθμός προδιαγραφών με Αναθεώρηση π.χ. Προδιαγραφές υλικού και μορφή υλικού (π.χ. φύλλο, ράβδος) για όλα τα υλικά που ενσωματώνονται στο εξάρτημα FAI, ειδικές προδιαγραφές διαδικασίας.

7. Code: Οποιοσδήποτε κωδικός καθορίζεται για το υλικό ή την διαδικασία.

8. Supplier: Προμηθευτής ή οργανισμός (εσωτερικός ή εξωτερικός) που εκτελεί ειδικές διαδικασίες ή προμηθεύει υλικό.

9. Customer Approval Verification: Επαλήθευση έγκρισης πελάτη για ειδική διαδικασία ή πηγές υλικού που έχουν εγκριθεί από τον πελάτη. Εισαγωγή "Ναι" εάν έχει εγκριθεί. "Όχι" εάν απαιτείται έγκριση, αλλά η πηγή διεργασίας δεν έχει εγκριθεί ή "N/A" εάν δεν απαιτείται έγκριση πελάτη.

11. Functional Test Procedure Number: Αριθμός διαδικασίας λειτουργικής δοκιμής που προσδιορίζεται ως χαρακτηριστικό σχεδιασμού.

12. Acceptance Report Number: Αριθμός Έκθεσης Αποδοχής, η πιστοποίηση λειτουργικής δοκιμής που υποδεικνύει ότι πληρούνται οι απαιτήσεις δοκιμής.

13. Comments: Υποστηρικτικά σχόλια, ανάλογα με την περίπτωση.

4.27.4. Συμπλήρωση Φόρμας 3 (AS9102 Form 3) - Verification and Compatibility Evaluation

Στην Φόρμα 3 του First Article Inspection Report συμπληρώνονται τα εξής πεδία:

1. Part Number του απαρτίου

2. Part Name του απαρτίου: Όνομα ανταλλακτικού

3. Serial Number: Σειριακός αριθμός

4. FAIR Identifier: Αναγνωριστικό για την Έκθεση Επιθεώρησης Πρωτότυπου Απαρτίου (FAIR).

5. Char.No: Μοναδικός εκχωρημένος αριθμός για κάθε χαρακτηριστικό σχεδιασμού. Το χαρακτηριστικό σχεδιασμού με ballooning πρέπει να είναι σαφώς ανιχνεύσιμο στον χαρακτηριστικό αριθμό που αναφέρεται στο πεδίο 5. Οι αυτοματοποιημένες μέθοδοι επιθεώρησης/αναφοράς/αποτελεσμάτων μέτρησης εργαλείων, θα συνδέονται σαφώς με τον χαρακτηριστικό αριθμό στο πεδίο 5, το σχέδιο με ballooning και την σχετική αναφορά μετρήσεων/αποτελεσμάτων.

6. Reference Location: Τοποθεσία αναφοράς, θέση του χαρακτηριστικού σχεδιασμού, π.χ. ζώνη σχεδίασης (αριθμός σελίδας και τμήμα).

7. Characteristic Designator: Χαρακτηριστικός προσδιορισμός, κατά περίπτωση, μία μοναδική αναγνώριση για ειδικές απαιτήσεις [π.χ. είδος διάστασης].

8. Requirement: Καθορισμένη απαίτηση για το χαρακτηριστικό σχεδιασμού (π.χ., διαστατικό χαρακτηριστικό σχεδίου με τις σχετικές ονομαστικές διαστάσεις και ανοχές, σημειώσεις σχεδίων, απαιτήσεις).

9. Results: Αποτελέσματα, κατάλογος μετρήσεων που ελήφθησαν για τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού. Ο οργανισμός θα καταγράφει τα αποτελέσματα στις μονάδες (π.χ. μετρικό, Αγγλοσαξωνικό σύστημα) που καθορίζονται στο σχέδιο. Για πολλαπλά χαρακτηριστικά, γίνεται καταχώρηση κάθε χαρακτηριστικού ως μεμονωμένες τιμές ή αναφορά μία φορά με τις ελάχιστες και μέγιστες μετρούμενες τιμές που έχουν επιτευχθεί. Εάν ένα χαρακτηριστικό

διαπιστωθεί ότι δεν συμμορφώνεται, τότε αυτό το χαρακτηριστικό θα αναγράφεται χωριστά. Όταν χρησιμοποιούνται ειδικά εργαλεία (tools) καταγράφεται το αποτέλεσμα ως pass ή fail.

10. Designed / Qualified Tooling: Όταν τα ειδικά σχεδιασμένα εργαλεία χρησιμοποιούνται για την αποδοχή χαρακτηριστικών γίνεται καταγραφή του αναγνωριστικού αριθμού τους.

11. Non conformance Number: Αριθμός μη συμμόρφωσης. Εάν το χαρακτηριστικό διαπιστωθεί ότι δεν συμμορφώνεται, καταγράφεται ένας αριθμός αναφοράς εγγράφου μη συμμόρφωσης.

12. Additional Data/Comments: Πρόσθετα δεδομένα / Σχόλια.

(Lockheed Martin, 2023)

4.27.5. Έγγραφα που περιλαμβάνονται στο FAI Report

Στον τελικό φάκελο που θα κατατεθεί στον πελάτη για την έγκριση του First Article Prototype περιλαμβάνονται τα εξής:

- AS9102 Form 1, Form 2, Form 3.
- Μηχανολογικό σχέδιο με ballooning.
- OTP (Order To Plan) με ballooning όπου απαιτείται.
- PHPAS (Perimeter and Hole Pattern Analysis Sheet) με ballooning όπου απαιτείται.
- Προδιαγραφές με διαστάσεις αν αυτές δεν αναφέρονται στο μηχανολογικό σχέδιο.
- Parts List
- Πλάνο εργασιών (Instruction Sheet)
- Painting Data Sheet για την βαφή.
- Supplemental Installation Operation Sheet, όπου καταγράφονται μετρήσεις και διαδικασίες όπως καθαρισμοί, τελικές επιστρώσεις (topcoat), FPI, MPI κλπ.
- Heat Treatment Sheet όπου καταγράφεται η διαδικασία και οι χρόνοι θερμικής επεξεργασίας όταν το απαιτούν οι προδιαγραφές.
- Certification of Conformance για το υλικό.
- Certification of Conformance για το primer και το top coat.

4.28. Μη Συμμόρφωση Απαρτίου κατά την διαδικασία του First Article Inspection

Στην περίπτωση που εντοπιστούν μη συμμορφώσεις κατά την διαδικασία του FAI στο απάρτιο, το εξάρτημα θα προωθηθεί είτε για επανεπεξεργασία (rework) αν υπάρχει δυνατότητα διορθωτικής ενέργειας, είτε προς καταστροφή (scrap).

4.28.1. Snag

Αν ο επιθεωρητής κατά την διαδικασία του ελέγχου εντοπίσει μη συμμορφώσεις που όμως δύνανται να διορθωθούν με εκ νέου επεξεργασία του απαρτίου, συμπληρώνει ειδική φόρμα rework (snag sheet). Στην φόρμα αυτή, καταγράφονται τα στοιχεία του κομματιού που αναφέρονται στο πλάνο εργασιών (instruction sheet), όπως το shop order, part number, το πρόγραμμα για το οποίο προορίζεται το απάρτιο (π.χ. F-16 ή C-130), το τμήμα που είναι υπεύθυνο για την μη συμμόρφωση, την ημερομηνία εντοπισμού της αστοχίας και την περιγραφή της μη συμμόρφωσης. Στην E.A.B. υπάρχει κωδικοποιημένο Σύστημα Ελαττωμάτων και Αιτιών, ώστε να καταγράφονται και να περιγράφονται από τους επιθεωρητές με ομοιόμορφο τρόπο οι εντοπισθείσες αποκλίσεις και οι αιτίες τους. Οι κωδικοί αυτοί (ελάττωμα και αιτία ανά περίπτωση) καταγράφονται επίσης στο snag sheet. (“HAI Defect & cause coding system for the internal and external rejections”, 2018). Τα ίδια στοιχεία καταγράφονται επίσης σε ειδικό έντυπο αρχείο και σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων όπου ανοίγει καρτέλα για το συγκεκριμένο part number.

Εν συνεχεία, το απάρτιο συνοδευόμενο από το snag sheet προωθείται στο τμήμα της παραγωγής που ήταν υπεύθυνο για την αστοχία και υποβάλλεται σε εκ νέου επεξεργασία προκειμένου το τελικό προϊόν να πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές. Ο τεχνίτης που αναλαμβάνει την διόρθωση, καταγράφει στο snag την ημερομηνία και τον χρόνο εκτέλεσης που χρειάστηκε. Η επιθεώρηση ελέγχει εκ νέου το κομμάτι και με την επιβεβαίωση της συμμόρφωσης αποδεσμεύει το απάρτιο, ενώ καταχωρεί το snag sheet στο αρχείο και “κλείνει” την καρτέλα στην βάση δεδομένων.

4.28.2. Discrepancy Report (DR)

Το έντυπο D.R. χρησιμοποιείται όταν μία απόκλιση υπερβαίνει τις ανοχές και/ή δεν μπορεί να αξιολογηθεί, να επιδιορθωθεί ή να τροποποιηθεί, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά δεδομένα και τις προδιαγραφές, που έχουν συμφωνηθεί και παρέχονται για τον σκοπό αυτό.

Στην περίπτωση αυτή, ο επιθεωρητής καταχωρεί σε τριπλό έντυπο τα στοιχεία του κομματιού που αναφέρονται στο πλάνο εργασιών (instruction sheet), όπως το shop order, part number, το πρόγραμμα για το οποίο προορίζεται το απάρτιο (π.χ. F-16 ή C-130), το τμήμα που είναι υπεύθυνο για την μη συμμόρφωση, την ημερομηνία εντοπισμού της αστοχίας, την περιγραφή της μη συμμόρφωσης και τους κωδικούς ελαττώματος και αιτίας από το κωδικοποιημένο Σύστημα Ελαττωμάτων και Αιτιών της E.A.B. Τα ίδια στοιχεία καταχωρούνται επίσης σε βάση δεδομένων Access, καθώς και στο σύστημα SAP.

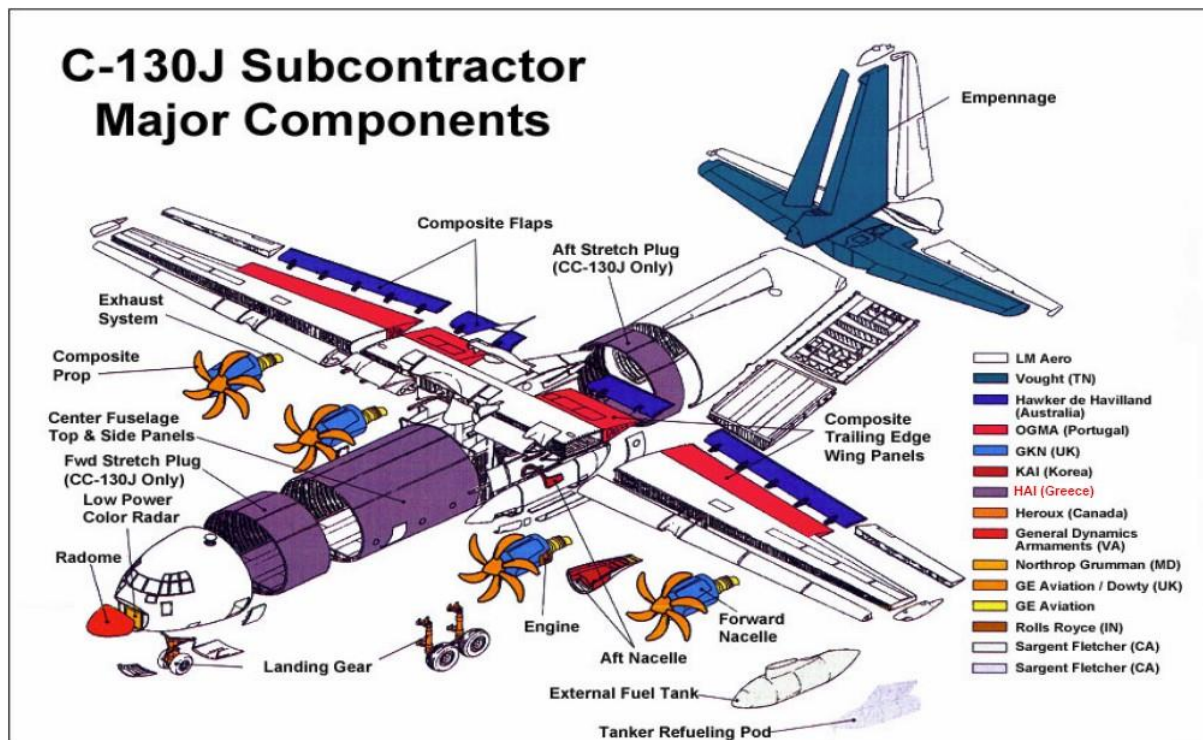
Τέλος, συμπληρώνεται ειδική φόρμα που μαζί με το ένα αντίγραφο από το τριπλό έγγραφο προωθούνται στο τμήμα της παραγωγής που είναι υπεύθυνο για την μη συμμόρφωση, προκειμένου να πραγματοποιηθεί διερεύνηση του προβλήματος ώστε να επιλυθεί οριστικά και να μην συμβεί ξανά. Το δεύτερο αντίγραφο από το τριπλό έγγραφο προωθείται στο Quality Assurance, ενώ το τρίτο μαζί με εκτυπωμένη φόρμα του SAP στο τμήμα μηχανικών. Ο υπεύθυνος μηχανικός αξιολογεί την μη συμμόρφωση και δίνει την τελική εντολή ώστε το απάρτιο να χαρακτηριστεί scrap. Το προς απόρριψη εξάρτημα συνοδευόμενο από κόκκινη κάρτα (Unserviceable / Condemned Tag Material) όπου αναγράφονται τα βασικά στοιχεία του, part number, shop order, περιγραφή, λόγος απόρριψης, είδος αεροσκάφους, αποθηκεύεται σε ειδικό χώρο απόρριψης.

Σημείωση: Σε ειδικές περιπτώσεις, το Discrepancy Report αποστέλλεται στον πελάτη, όπου αξιολογείται και ενδέχεται να προταθεί κάποια συγκεκριμένη διορθωτική ενέργεια ή να χρησιμοποιηθεί ως έχει (use as is), ενώ το τμήμα μηχανικών του πελάτη προτείνει κάποια αλλαγή κατά την τελική συναρμολόγηση (final assembly) η οποία πραγματοποιείται στο εξωτερικό.

Κεφάλαιο 5°. Μελέτη περίπτωσης πρωτότυπου απαρτίου στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία

Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία είναι υποκατασκευαστής δομικών μερών του C-130J Hercules. Συγκεκριμένα, είναι αποκλειστικός προμηθευτής για το Fwd Stretch Plug, Center Fuselage Top & Side Panels και Aft Stretch Plug, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1. με μωβ χρώμα.

Το απάρτιο που μελετάται αποτελεί μέρος του Forward Stretch Plug και χρησιμεύει ως αποστάτης.



Εικόνα 5.1. Χώρες-υποκατασκευαστές για το C-130J (Hellenic Aerospace Industry (n.d.))

Στο Πλάνο Εργασίας τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Operation 1010 – Αποθήκη

Επιλογή υλικού 7075-T651 Bare, διαστάσεων .625”X48”.

Πρόκειται για κράμα αλουμινίου 7075 με κύριο στοιχείο τον ψευδάργυρο, εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και παρουσιάζει καλή ολκιμότητα, υψηλή αντοχή, σκληρότητα και καλή αντοχή στην κόπωση. Είναι πιο ευαίσθητο στην ευθραυστότητα από πολλά άλλα κράματα αλουμινίου λόγω μικροδιαχωρισμού μετά την στερεοποίησή του. Η ονομασία T651 temper υποδηλώνει ότι το υλικό έχει υποστεί γήρανση με τεχνητό τρόπο, γεγονός που βελτιώνει την αντοχή και την σκληρότητά του. Το συγκεκριμένο κράμα χαρακτηρίζεται από καλή μορφοποίηση, εξαιρετικό φινίρισμα επιφάνειας και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Η ονομασία bareυποδηλώνει ότι δεν έχει εφαρμοστεί στρώση οξειδωσης.

Ο υπεύθυνος για το υλικό, καταχωρεί στο πλάνο εργασίας τον αριθμό αποθήκευσης του υλικού, την ημερομηνία που αφαιρεί το υλικό από την αποθήκη και σφραγίζει το συγκεκριμένο operation του πλάνου.

- **Operation 1020 – Επαλήθευση Υλικού - Πρώτη κοπή**

Κοπή με πριονοκορδέλα 12,90”X1,50”.

Πριν την πρώτη κοπή, ο επιθεωρητής ελέγχει τα στοιχεία (batch number, lot number, κράμα 7075-T651) που έχουν σημειωθεί πάνω στην πλάκα, προκειμένου να επιβεβαιώσει ότι το υλικό είναι αυτό που συμφωνεί με την ζητούμενη προδιαγραφή. Ταυτόχρονα πραγματοποιεί οπτικό έλεγχο ώστε να διαπιστωθεί ότι το υλικό είναι σε καλή κατάσταση και δεν υπάρχουν χτυπήματα ή άλλου είδους ανωμαλίες στην επιφάνεια και σφραγίζει το operation του πλάνου.

Εν συνεχεία, ο τεχνίτης στο τμήμα της πρώτης κοπής, κόβει με πριονοκορδέλα την πλάκα σε διαστάσεις 12,90”X1,50” και σφραγίζει την εργασία του.

- **Operation 1030 – Διαμόρφωση σε CNC μηχανή**

Mill and drill part to complete per MSDF and Engineering Drawing

Το απάρτιο μεταφέρεται σε CNC μηχανή όπου πραγματοποιείται η κατεργασία και το τρύπημα σύμφωνα με το μηχανολογικό σχέδιο και το πρόγραμμα που έχει φτιαχτεί από το τμήμα CNC και Σχεδιασμού. Ο χρήστης της μηχανής μετά την ολοκλήρωση της εργασίας, σφραγίζει το αντίστοιχο operation του πλάνου.

- **Operation 1040 – Απογρέζωση (Deburring)**

Hand deburr all sharp edges – Attach temporary metal tag

Ο τεχνίτης στο τμήμα απογρέζωσης, λειαίνει τις άκρες του απαρτίου σύμφωνα με την κατευθυντήρια οδηγία του πελάτη, με επιθυμητό αποτέλεσμα αυτό όπου οι άκρες δεν

παρουσιάζουν εσοχές με ανασηκωμένες αιχμηρές γωνίες, “σκισίματα”, χτυπήματα ή άλλες επιφανειακές ανωμαλίες. Επί πλέον, τοποθετεί στο απάρτιο μεταλλικό ταμπελάκι (metal tag) όπου αναγράφεται το part number και το shop order. Με την ολοκλήρωση της εργασίας του, σφραγίζει το operation του πλάνου.

- **Operation 1050 – Power Brake**

Form Contour of part using CKFM XXXX

Το απάρτιο μεταφέρεται στην στράντζα όπου σχηματίζεται η καμπυλότητα (contour). Το πλάνο καλεί συγκεκριμένο εργαλείο που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο τεχνίτης. Με την ολοκλήρωση της εργασίας του, σφραγίζει το operation του πλάνου.

- **Operation 1060 – Reaming**

Μετά το τρύπημα στην CNC μηχανή, ο τεχνίτης περνάει τις τρύπες του απαρτίου με ειδικό κοπτικό εργαλείο (ρίμα), προκειμένου να μεγεθύνει τις διαμέτρους των οπών με μεγαλύτερη ακρίβεια και να βελτιώσει το φινίρισμα της επιφάνειας των τοιχωμάτων τους. Οι τελικές οπές θα πρέπει να έχουν διάμετρο .315”-.322”. Μετά το πέρας της εργασίας, σφραγίζει το αντίστοιχο operation του πλάνου.

- **Operation 1070 – Inspect Dimensional (Διαστατικός έλεγχος)**

Inspect dimensional per engineering drawing – Inspect metal tag – Inspect visual for cracks – Check contour using Tool 50XXXX.

Έλεγχος διαστάσεων

Σύμφωνα με το μηχανολογικό σχέδιο, πρέπει να μετρηθούν οι διαστάσεις που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα 5.1.:

Characteristics (Χαρακτηριστικό)	Dimensions (Διαστάσεις)	Tolerances (Ανοχές)
Length (Μήκος)	12.70"	±.03"
Length (Μήκος)	1.50"	±.03"
Length (Μήκος)	.75"	±.03"
(Length Μήκος))	.80"	±.03"
Length (Μήκος)	.625"	±.010"
Hole Diameter (Διάμετρος Οπής)	.315"-.322"	-

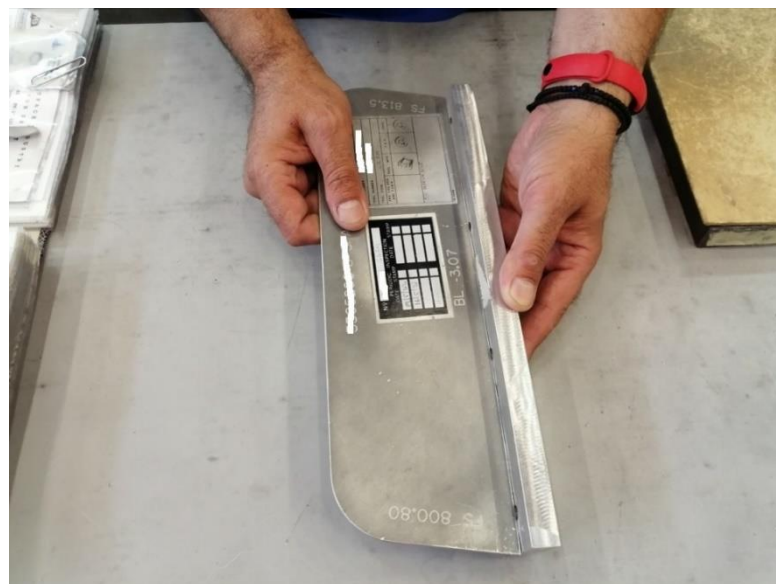
Equal Pitch (Διάστημα από κέντρο σε κέντρο οπής)	(3) Eq.Pitch 3.70"	$\pm.03"$
--	--------------------	-----------

Πίνακας 5.1. Διαστάσεις μηχανολογικού σχεδίου

Για τις μετρήσεις, ο επιθεωρητής χρησιμοποιεί pin gages για την διάμετρο των οπών και τα αντιστοίχων διαστάσεων παχύμετρα (calipers) για τα μήκη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταχωρούνται στην Φόρμα 3 του FAI Report.

Έλεγχος Contour (Καμπυλότητας)

Στο OTP (Order To Plan), καθώς και στο πλάνο εργασιών, καλείται το εργαλείο 50XXXX που πρέπει να χρησιμοποιήσει προκειμένου να ελέγξει ότι το contour (καμπυλότητα) είναι σωστό. (Εικόνα 5.2.) Το αποτέλεσμα για το υπό μελέτη απάρτιο είναι ότι το contour βάσει του εργαλείου βρέθηκε σωστό και καταχωρείται το αποτέλεσμα “pass” στο αντίστοιχο πεδίο της Φόρμας 3 του FAI Report.



Εικόνα 5.2. Εργαλείο για τον έλεγχο του contour

Έλεγχος metal tag

Ο επιθεωρητής ελέγχει ότι το part number του απαρτίου και το shop order του πλάνου αναγράφονται σωστά στο μεταλλικό ταμπελάκι που συνοδεύει το κομμάτι.

Οπτικός έλεγχος

Ο επιθεωρητής ελέγχει οπτικά το απάρτιο προκειμένου να διαπιστώσει αν έχει πραγματοποιηθεί σωστά η απογρέζωση σύμφωνα με την προδιαγραφή του πελάτη και αν τυχόν υπάρχουν χτυπήματα, cracks ή άλλες ανωμαλίες στην επιφάνεια του κομματιού.

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω έλεγχοι και το απάρτιο πληροί τις προδιαγραφές, ο επιθεωρητής σφραγίζει το αντίστοιχο operation του πλάνου εργασιών.

- **Operation 1080 – Pre penetrant cleaning**

Πριν την εφαρμογή του διεισδυτικού για το Fluorescent Penetrant Inspection (FPI), το απάρτιο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από λάδια, γράσα, σωματίδια και άλλα υπολείμματα. Για τον λόγο αυτό και επειδή ήταν αρκετά βρώμικο, αρχικά καθαρίστηκε με καθαρό πανί και ειδικό διαλυτικό. Εν συνεχεία, πραγματοποιούνται οι εξής δράσεις:

Αλκαλικός καθαρισμός

Ο αλκαλικός καθαρισμός πραγματοποιείται σε ειδική δεξαμενή και ακολουθεί γρήγορο ξέβγαλμα με ψεκασμό με νερό βρύσης.

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
2. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.
3. Θερμοκρασία δεξαμενής.

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό, ενώ κατά την ανάσυρσή του ψεκάζεται ξανά με νερό. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Οπτική επιθεώρηση

Ο επιθεωρητής ελέγχει για ρύπους και υπολείμματα πάνω στο απάρτιο που απωθούν το νερό, προκαλώντας την δημιουργία σφαιριδίων. (water breaks). Στο υπό μελέτη απάρτιο δεν βρέθηκαν τέτοιου είδους σημεία.

Όξινος καθαρισμός

Ο όξινος καθαρισμός πραγματοποιείται σε ειδική δεξαμενή και ακολουθεί γρήγορο ξέβγαλμα με ψεκασμό με απιονισμένο νερό.

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
2. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό για έκπλυση. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Alkaline etch

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με αλκαλικό διάλυμα προκειμένου να πραγματοποιηθεί το etching, δηλαδή να “φαγωθεί” ένα μέρος της επιφάνειας του μετάλλου. Ο χρόνος βύθισης εξαρτάται από το τεστ που γίνεται πριν από κάθε βάρδια με δοκίμια, ώστε να καθοριστούν τα λεπτά όπου το απάρτιο πρέπει να μείνει στην δεξαμενή (Etch Rate), προκειμένου να αφαιρεθεί τόσο υλικό όσο απαιτεί η προδιαγραφή.

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Το Etch Rate.
2. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
3. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.
4. Θερμοκρασία δεξαμενής.
5. Υλικό που αφαιρέθηκε. (σε ίντσες)

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό για έκπλυση. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Βύθιση σε δεξαμενή με χρωμικό και νιτρικό διάλυμα

Μετά την διαδικασία του etching, το απάρτιο έχει αποκτήσει μαύρο χρώμα. Για να επανέλθει στο αρχικό του χρώμα (desmut), βυθίζεται σε δεξαμενή με χρωμικό και νιτρικό διάλυμα για μερικά λεπτά και ψεκάζεται κατά την ανάσυρσή του με απιονισμένο νερό.

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
2. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.

3. Θερμοκρασία

Τελική βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό για έκπλυση και κατά την ανάσυρσή του ψεκάζεται με απιονισμένο νερό. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Στέγνωμα

Το απάρτιο στεγνώνεται με πεπιεσμένο αέρα.

Με το πέρας των παραπάνω εργασιών, ο τεχνίτης και ο επιθεωρητής που παρακολουθεί και ελέγχει την διαδικασία, σφραγίζουν το SIOS και το αντίστοιχο operation του πλάνου εργασιών.

- **Operation 1090 – Fluorescent Penetrant Inspection**

Στην επιφάνεια του απαρτίου εφαρμόζεται το φθορίζον διεισδυτικό υγρό. Στην συνέχεια τοποθετείται σε ειδικό φούρνο σε θερμοκρασία έως 71°C έως ότου στεγνώσει και έπειτα μέσα σε 2 ώρες εφαρμόζεται το developer ώστε να τραβήξει αποτελεσματικά το διεισδυτικό από ένα τυχόν ελάττωμα στο κομμάτι.

Ο επιθεωρητής καταγράφει στο πλάνο εργασιών τα εξής στοιχεία:

1. Κωδικός MFG (κατασκευαστή) διεισδυτικού υγρού και batch number.
2. Κωδικός MFG (κατασκευαστή) developer και batch number.
3. Χρόνος εφαρμογής διεισδυτικού υγρού και θερμοκρασία.
4. Χρόνος εφαρμογής developer.
5. Ώρα εργασίας και ημερομηνία.

Το κομμάτι ελέγχεται σε υπεριώδες φως για τυχόν ρωγμές, σπασίματα, ραφές κλπ. Στο υπό μελέτη απάρτιο δεν βρέθηκαν ευρήματα. Ο επιθεωρητής σφραγίζει το αντίστοιχο operation του πλάνου.

- **Operation 1100 – Pre-chemical conversion cleaning**

Πριν το απάρτιο προωθηθεί για βαφή, υπόκειται σε επίστρωση χημικής μετατροπής (Alodine). Πραγματοποιούνται οι εξής εργασίες:

Αλκαλικός καθαρισμός

Ο αλκαλικός καθαρισμός πραγματοποιείται σε ειδική δεξαμενή και ακολουθεί γρήγορο ξέβγαλμα με ψεκασμό με νερό βρύσης.

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
2. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.
3. Θερμοκρασία δεξαμενής.

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό βρύσης. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Οπτική επιθεώρηση

Ο επιθεωρητής ελέγχει για ρύπους και υπολείμματα πάνω στο απάρτιο που απωθούν το νερό, προκαλώντας την δημιουργία σφαιριδίων. (waterbreaks). Στο υπό μελέτη απάρτιο δεν βρέθηκαν τέτοιου είδους σημεία.

Βύθιση σε δεξαμενή με θειοχρωμικό οξύ

Ο τεχνίτης καταγράφει στο Supplement Installation Operation Sheet (SIOS) τα εξής στοιχεία:

1. Ώρα εμβάπτισης στην δεξαμενή.
2. Ώρα απόσυρσης από την δεξαμενή.
3. Θερμοκρασία δεξαμενής.

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό βρύσης, ενώ κατά την ανάσυρσή του ψεκάζεται με απιονισμένο νερό. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Οπτική επιθεώρηση

Ο επιθεωρητής ελέγχει ξανά το απάρτιο για water breaks. Δεν βρέθηκαν τέτοιου είδους σημεία.

Βύθιση σε δεξαμενή με Alodine

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με Alodine. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας και την θερμοκρασία της δεξαμενής.

Βύθιση σε δεξαμενή με νερό

Το απάρτιο βυθίζεται σε δεξαμενή με νερό βρύσης, ενώ κατά την ανύψυσή του ψεκάζεται με απιονισμένο νερό. Ο τεχνίτης καταγράφει τον χρόνο της εργασίας.

Στέγνωμα

Το απάρτιο στεγνώνεται με πεπιεσμένο αέρα.

Οπτικός έλεγχος

Ο επιθεωρητής ελέγχει οπτικά το κομμάτι, ώστε να διαπιστώσει αν υπάρχουν κενά στην επιφάνειά του κατά την εφαρμογή του Alodine. Το αποδεκτό χρώμα για την επιφάνεια είναι σε αποχρώσεις του καφέ και του ιριδίζοντος χρυσοκίτρινου. Στο υπό μελέτη απάρτιο διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σωστά.

Μετά το πέρας των εργασιών, ο τεχνίτης και ο επιθεωρητής σφραγίζουν τα πεδία του SIOS και το αντίστοιχο operation του πλάνου εργασιών.

- **Operation 1110 – Surface protection**

Το απάρτιο τυλίγεται με νάυλον (bubblesheet) για προστασία, προκειμένου να μεταφερθεί στο βαφείο. Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας, ο τεχνίτης και ο επιθεωρητής σφραγίζουν το αντίστοιχο operation του πλάνου εργασιών

- **Operation 1120 – Apply primer epoxy**

Πραγματοποιείται η βαφή του απαρτίου με primer τριών συστατικών (Component A, Component B και νερού) με την μέθοδο του ψεκασμού. Ο τεχνίτης που εκτελεί την εργασία καταγράφει στην φόρμα “Painting Data Sheet” τα εξής στοιχεία:

1. Τα part numbers των συστατικών του primer (Component A και Component B).
2. Τα batch numbers/Lot των συστατικών του primer (Component A και Component B).
3. Τον προμηθευτή των χημικών. (Manufacturer)
4. Καταγραφή της ώρας μίξης των συστατικών.
5. Την ποσότητα μίξης. (Quantity to mix)
6. Τον χρόνο πολυμερισμού της μίξης. (Induction Time)
7. Το ιξώδες (Viscosity)
8. Την χρήση ή όχι διαλυτικού. (Use of thinner). Στο υπό μελέτη απάρτιο δεν χρησιμοποιείται διαλυτικό.

9. Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την εκτέλεση της εργασίας. (Application Temperature)
10. Σχετική υγρασία περιβάλλοντος κατά την εκτέλεση της εργασίας. (Application Relative Humidity)
11. Θερμοκρασία που πραγματοποιείται το curing σε φούρνο, προκειμένου να ωριμάσει η εποξειδική ουσία και να συνδυάζονται απρόσκοπτα τα συστατικά.
12. Χρόνος που πραγματοποιείται το curing.
13. Καταγραφή ώρας εφαρμογής. (Time of application)

Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας, ο τεχνίτης σφραγίζει το operation του πλάνου εργασιών και το αντίστοιχο πεδίο στο “Painting Data Sheet”.

- **Operation 1130 – Inspect primer application**

Ο επιθεωρητής ελέγχει οπτικά την εφαρμογή του primerώστε η βαφή να είναι ομοιόμορφη πάνω στο απάρτιο, να μην υπάρχουν “τρεξίματα” ή κενά. Εν συνεχεία πραγματοποιεί μετρήσεις σε διάφορα σημεία του κομματιού με το όργανο elcometer, καταγράφει το πάχος του primer στο Painting Data Sheet και σφραγίζει το αντίστοιχο πεδίο. Στο υπό μελέτη απάρτιο βρέθηκε thickness: 1,0-1,1 Mil στο οποίο είναι εντός των ορίων προδιαγραφών του πελάτη.

- **Operation 1140 – Apply top coat**

Πραγματοποιείται η τελική επίστρωση (δύο συστατικών) πάνω από το αστάρι στο απάρτιο μέσα σε μία ώρα από την εφαρμογή του primer. Ο τεχνίτης που εκτελεί την εργασία καταγράφει στην φόρμα “Painting Data Sheet” τα εξής στοιχεία:

1. Τα part numbers των συστατικών του primer (Component A και Component B).
2. Τα batch numbers/Lot των συστατικών του primer (Component A και Component B).
3. Χρόνος που έχει παρέλθει μετά την εφαρμογή ασταριού. (Elapsed time after primer application).
4. Καταγραφή της ώρας μίξης των συστατικών.
5. Την ποσότητα μίξης. (Quantity to mix)
6. Τον χρόνο πολυμερισμού της μίξης. (Induction Time)
7. Το ιξώδες. (Viscosity)

8. Την χρήση ή όχι διαλυτικού. (Use of thinner). Στο υπό μελέτη απάρτιο δεν χρησιμοποιείται διαλυτικό.

9. Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την εκτέλεση της εργασίας. (Application Temperature)

10. Σχετική υγρασία περιβάλλοντος κατά την εκτέλεση της εργασίας. (Application Relative Humidity)

11. Θερμοκρασία που πραγματοποιείται το curing σε φούρνο, ώστε να συνδυάζονται απρόσκοπτα τα συστατικά.

12. Χρόνος που πραγματοποιείται το curing.

Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας, ο τεχνίτης σφραγίζει το operation του πλάνου εργασιών και το αντίστοιχο πεδίο στο “Painting Data Sheet”.

- **Operation 1150 – Inspect top coat application**

Ο επιθεωρητής ελέγχει οπτικά την εφαρμογή του topcoat ώστε να είναι ομοιόμορφο πάνω στο απάρτιο, να μην υπάρχουν “τρεξίματα” ή κενά. Εν συνεχεία πραγματοποιεί μετρήσεις σε διάφορα σημεία του κομματιού με το όργανο elcometer, καταγράφει το πάχος της επιστρώσης στο Painting Data Sheet και σφραγίζει το αντίστοιχο πεδίο. Στο υπό μελέτη απάρτιο βρέθηκε thickness: 2,0 - 2,1 Mils το οποίο είναι εντός των ορίων προδιαγραφών του πελάτη.

- **Operation 1160 – Perform ink jet stamping**

Ο τεχνίτης πραγματοποιεί την σήμανση στην εσωτερική μεριά του απαρτίου. Η σήμανση περιλαμβάνει το Part Number του κομματιού, τον κωδικό MFR του κατασκευαστή, ημέρα/μήνας/έτος και το shop order. Με την ολοκλήρωση της εργασίας, ο τεχνίτης σφραγίζει το αντίστοιχο operation του πλάνου εργασιών.

- **Operation 1170 – Inspect final – Inspect identification**

Ο επιθεωρητής ελέγχει οπτικά το απάρτιο για τυχόν ελαττώματα και χτυπήματα. Διασφαλίζει επίσης ότι όλα τα έγγραφα εργασίας (πλάνο εργασίας, paint data sheet, supplemental installation operation sheet) έχουν υπογραφεί και ολοκληρωθεί σωστά. Τέλος, ελέγχει την σήμανση (marking) και ότι έχουν καταγραφεί σωστά τα στοιχεία του απαρτίου. Κλείνει το πλάνο εργασιών με σφράγιση / χρονολόγηση.


- **Operation 1180 – Forward parts to stock for further assembly**

Στην φάση αυτή της διαδικασίας, αποστέλλεται ολοκληρωμένο το FAI Report στον πελάτη. Ο φάκελος για το υπό μελέτη απάρτιο περιλαμβάνει τα COC του υλικού και των χημικών, το Data Paint Sheet, το Supplemental Installation Operation Sheet (SIOS), το μηχανολογικό σχέδιο, το Order To Plan (OTP), τις Φόρμες 1, 2 και 3. (Πίνακες 5.2., 5.3. και 5.4.). Με την έγκριση του πελάτη, το απάρτιο μεταφέρεται στην αποθήκη προκειμένου να προωθηθεί εν συνεχεία στην συναρμολόγηση (παραγωγή).

FIRST ARTICLE INSPECTION REPORT FORM 1 - PART NUMBER ACCOUNTABILITY			Sheet 1 of 3
1. Part Number: 330XXXX-3	2. Part Name: XXXXXXX	3. Serial Number: N/A	4. FAIR Identifier: 723
5. Part Revision Level: -	6. Drawing Number: 330XXXX	7. Drawing revision level: -	8. Additional Changes:
9. Manufacturing Process Reference: S/O: 10XXXXXX	10. Organization Name: HELLENIC AEROSPACE INDUSTRY S.A.	11. Supplier Code: SSXXXX	12. Purchase Order Number: 65XXXXXXXXXX
13. Detail Part: Assembly FAI:	14. Full FAI: Partial FAI: Baseline Part Number (including revision level): Reason for Full / Partial FAI:		
a) If above part number is a detail part only, go to field 19.			
b) If above part number is an assembly, go to the "INDEX" section below.			
INDEX of part numbers or sub-assembly numbers required to make the assembly noted above.			
15. Part Number:	16. Part Name:	17. Part Type:	18. FAIR Identifier:
19. Does a FAIR Contain a Documented Nonconformance(s)?		Yes	
No			
20. FAIR Verified By: TSALKOU SOFIA			21. Date: 15/05/2024
22. FAIR Reviewed / Approved By:			23. Date:


24. Customer Approval:				25. Date:
26. Comments:				

Πίνακας 5.2. Φόρμα 1 (AS9102 Form 1) - Part Number Accountability

 FORM 2 - PRODUCT ACCOUNTABILITY - MATERIALS, SPECIAL PROCESSES AND FUNCTIONAL TESTING						Sheet 2 of 3
1. Part Number:	2. Part Name:		3. Serial Number:		4. FAIR Identifier:	
330XXXX-3	XXXXXXXX		N/A		723	
5. Material or Process Name:	6. Specification	7. Code:	8. Supplier:	9. Customer	10. Certificate of	
	<i>Number:</i>			<i>Approval</i>	<i>Conformance</i>	
				<i>Verification:</i>	<i>Number:</i>	
7075-T651-BARE	AL, AL (QQ-A-XXX/XX)	GXXXXXX	XXXXXXX	YES	S/O: 10XXXXXXX	
MARKING	HWI-XXX-C130J REV.E STPXX-001 REV.T	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
INK	COMMERCIAL	GXXXXXXX	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
FINISH CODE F-X-X-X-X PER XXX	XXX REV. G31	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
FINISH SPECIFICATION FOR C- 130 SERIES AIRPLANES	LAC XXXX, Rev. G39	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
WATER THINNED EPOXY PRIMER	MIL PRF-85582 TY.1 C2 REV D AMENDMENT 1 HWI XXXX-C130J REV. E	GXXXXXXX	XXX	YES	S/O: 10XXXXXXX	
SURFACE PREPARATION AND APPLICATION OF FINISHES TO C-130 SERIES Aircraft Parts	XXXX REV.R	N/A	H.A.I.	YES	S/O: 10XXXXXXX	
EPOXY PRIMER/ POLYURETHANE TOPCOAT SYSTEM, SURFACE PREPARATION OF , AND APPLICATION TO, EXTERIOR SURFACES AND INTERIOR DETAIL PARTS	XXXX REV.AB	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
ALODINE	HWI-XXX-C130J REV. P STPXX-XXX CL. 1 REV. N	GXXXXXXX	XXX	YES	S/O: 10XXXXXXX	
STANDARD MACHINING PRACTICES	HWI-XXXX-C130J REV.B STPXX-XXX REV E	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
FORM & FABRICATE	HWI-XXX-C130J REV.G STP XX-XXX. REV. AF	N/A	N/A	YES	S/O: 10XXXXXXX	
CHEM FILM	STPXX-XXX CL. 1 REV.N	210A	H.A.I.	YES	S/O: 10XXXXXXX	
TOP COAT	MIL-PRF-85285 TY 1 HWI-XXXX-C130J REV E	GXXXXXX	XXX	YES	S/O: 10XXXXXXX	

PRE-PENETRANT ETCH	HWI-XXXX-C130J REV F STPXX-XXX REV AC	XXX	H.A.I.	YES	S/O: 10XXXXXX
F.P.I.	WP-XXXX-C130J REV I	XXXX	H.A.I.	YES	S/O: 10XXXXXX
11. Fuctional Test Procedure Number:			12. Acceptance Report Number:		
13. Comments:					

Πίνακας 5.3. Φόρμα 2(AS9102 Form 2) - Special Processes and Functional Testing

 FORM 3 - CHARACTERISTIC ACCOUNTABILITY, VERIFICATION AND COMPATIBILITY EVALUATION							Sheet 3 of 3
1. Part Number				2. Part Name		3. Serial Number	4. FAIR Identifier
330XXXX-3				XXXXXXX		N/A	723
Characteristic Accountability				Inspection / Test Results			
5. Char. No.:	6. Reference Location:	7. Characteristic Designator:	8. Requirement:	9. Results:	10. Designed / Qualified Tooling:	11. Nonconformance Number:	12. Additional Data / Comments:
1	B/P A1	MATERIAL	7075-T651-BARE QQ-X-XXX/XX	PASS	N/A		B/P:330XXXX SH1 REV.C
2	B/P C6	LENGTH	12.70"±.03"	12.706"	CALIPER		B/P:330XXXX SH1 REV.C
3	B/P C4	LENGTH	1.50"±.03"	1.508"	CALIPER		B/P:330XXXX SH1 REV.C
4	B/P C4	LENGTH	.75"±.03"	.757"	CALIPER		B/P:330XXXX SH1 REV.C
5	B/P C8	LENGTH	.80"±.03"	.799"-.803"	CALIPER		2 PLACES B/P:330XXXX SH1 REV.C
6	B/P C4	LENGTH	.625"±.010"(REF)	.623"	CALIPER		B/P:330XXXX SH1 REV.C
7	B/P B6	HOLE DIAM.	.315"-.322"	.317"-.318"	PIN GAGE		4 PLACES B/P:330XXXX SH1 REV.C
8	B/P E7	EQ.PITCH	(3) EQ.PITCH 3.70"±.03"(REF)	3.697"	CALIPER		BP:330XXXX SH1 REV.C
9	OTP	PART FORMED AND CONTOUR CHECKED		PASS	CKFM TOOL 50XXXX		CATIA FILE: "CT-330XXXX-3.CATPART"
10	B/P A6	NOTE 1	MACHINE PER PROCESS SPECIFICATION STPXX-XXX	PASS	N/A		B/P:330XXXX SH1 REV.C
11	B/P A6	NOTE 2	IDENTIFY PER PROCESS SPECIFICATION STPXX-XXX	PASS	N/A		B/P:330XXXX SH1 REV.C
12	B/P A6	NOTE3	FINISH PER PROCESS SPECIFICATION XXXX, SEE PROCESS BULLETIN GXX FOR FINISH CODE F-X-X-X-X	1.0-1.1 MIL 2.0-2.1 MIL	N/A		PRIMER FILM THICKNESS FOR (1) COAT 0.4 TO 1.4 MIL PRIMER FILM THICKNESS FOR (2) COATS 0.8 TO 2.0 MIL TOP COAT FILM THICKNESS FOR (2) COATS 1.7 TO 2.6 MIL

13	B/P A6	NOTE 4	PART NO.330XXXX-1,- 2,-3,-5 &-6 CATEGORY 4(SEE DWG XXXXXX)	PASS	N/A		B/P:330XXXX SH1 REV.C
14	B/P A6	NOTE 5	ODD DASH NO. - SHOWN NEXT HIGHER CONSECUTIVE EVEN DASH NO.-OPPOSITE	PASS	N/A		B/P:330XXXX SH1 REV.C
15							

Πίνακας 5.4. Φόρμα 3 (AS9102 Form 3) - Verification and Compatibility Evaluation

Κεφάλαιο 6°. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η διαδικασία First Article Inspection (FAI) αποτελεί μία κρίσιμη και δομημένη μέθοδο για την διασφάλιση ποιότητας στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία. Μέσα από την λεπτομερή και συστηματική προσέγγιση της FAI, η EAB εξασφαλίζει ότι τα νέα ή τροποποιημένα εξαρτήματα και συστήματα πληρούν τις αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας και ασφάλειας που απαιτούνται στην αεροπορική βιομηχανία, ενώ ενσωματώνει τις καλύτερες πρακτικές και τις διεθνείς προδιαγραφές, όπως το AS9100, και συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των αρμόδιων αρχών όπως η EASA και η FAA. Αυτό επιτρέπει στην EAB να παραμείνει ανταγωνιστική σε παγκόσμιο επίπεδο, διασφαλίζοντας ότι τα προϊόντα της είναι υψηλής ποιότητας και πληρούν τις διεθνείς κανονιστικές απαιτήσεις. Η συμμόρφωση με αυτά τα πρότυπα δεν είναι απλώς μια τυπική διαδικασία, αλλά αποτελεί ένδειξη της δέσμευσης της EAB στην ποιότητα και την ασφάλεια.

Η εφαρμογή της διαδικασίας FAI στην EAB συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των κινδύνων αποτυχίας και ελαττωμάτων κατά τη μαζική παραγωγή, καθώς τα πιθανά προβλήματα αναγνωρίζονται και διορθώνονται κατά το στάδιο του πρωτοτύπου. Αυτό όχι μόνο διασφαλίζει την αξιοπιστία και την ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων, αλλά και ενισχύει την εμπιστοσύνη των πελατών και των ρυθμιστικών αρχών και κατά συνέπεια την αξιοπιστία της εταιρείας.

Επί πλέον, η διαδικασία FAI στην EAB ενισχύει την διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα μέσω της λεπτομερούς τεκμηρίωσης όλων των σταδίων της παραγωγής και του ποιοτικού ελέγχου. Αυτό επιτρέπει την άμεση αναγνώριση και αντιμετώπιση οποιουδήποτε προβλήματος που μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, βελτιώνοντας την συνολική αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα της παραγωγής. Η τεκμηρίωση των διαδικασιών και των αποτελεσμάτων όχι μόνο παρέχει μια σαφή εικόνα της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και δημιουργεί ένα πολύτιμο αρχείο για μελλοντική αναφορά και αναλύσεις.

Παράλληλα, η διαδικασία FAI αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο εκπαίδευσης και καθοδήγησης για νέους επιθεωρητές και το προσωπικό ποιότητας, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι είναι εξοικειωμένοι με τις διαδικασίες και τις απαιτήσεις ποιότητας. Με αυτόν τον τρόπο, η EAB προάγει μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης και δέσμευσης στην

ποιότητα. Η συνεχής εκπαίδευση και βελτίωση είναι ζωτικής σημασίας για την προσαρμογή στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και προκλήσεις της αεροναυπηγικής βιομηχανίας.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, θα μπορούσε μελλοντικά να συμβάλει στην μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα της FAI, με ενσωμάτωση της τεχνολογίας της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Μηχανικής Μάθησης για την αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών ελέγχου και επαλήθευσης.

Η χρήση αλγορίθμων για την ανάλυση των δεδομένων από τις διαδικασίες παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, θα επιτρέπει την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων και ελαττωμάτων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη μοντέλων Μηχανικής Μάθησης θα μπορούν να προβλέψουν πιθανά ελαττώματα και αποτυχίες με βάση ιστορικά δεδομένα και μοτίβα από προηγούμενες παραγωγές. Αυτό επιτρέπει την πρόληψη προβλημάτων πριν εμφανιστούν, μειώνοντας τον αριθμό των απορριφθέντων εξαρτημάτων και κατά συνέπεια την μείωση του κόστους. Επίσης, η εφαρμογή συστημάτων αυτοματοποιημένης οπτικής επιθεώρησης που χρησιμοποιούν Τεχνητή Νοημοσύνη για την αναγνώριση ελαττωμάτων σε απάρτια, θα μπορούν να ανιχνεύσουν μικροσκοπικές ατέλειες που μπορεί να διαφύγουν από τον ανθρώπινο οφθαλμό, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα της επιθεώρησης.

Η χρήση τεχνολογίας Internet of Things (IoT) για την συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων σε κάθε στάδιο της παραγωγής, θα μπορεί να αυξήσει και να διασφαλίσει την ιχνηλασιμότητα ενώ τα δεδομένα θα μπορούν να αποθηκευτούν σε μία πλατφόρμα block chain για να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα και η διαφάνειά τους, παρέχοντας αδιάβλητη τεκμηρίωση της διαδικασίας FAI. Η ανάπτυξη της πλατφόρμας block chain θα μπορεί επίσης να επιτρέπει την άμεση συνεργασία μεταξύ προμηθευτών, κατασκευαστών και πελατών και την άμεση ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών σχετικά με τα αποτελέσματα της FAI, διευκολύνοντας την ταχύτερη επίλυση προβλημάτων και την έγκαιρη αποδοχή των εξαρτημάτων.

Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στην διαδικασία First Article Inspection μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην ακρίβεια, την αποτελεσματικότητα και τη διαφάνεια της διαδικασίας ελέγχου και αποδοχής πρωτότυπων απαρτίων και να συμβάλλουν στην ενίσχυση της αξιοπιστίας και της ανταγωνιστικότητας της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας σε παγκόσμιο επίπεδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πρότυπα – Προδιαγραφές – Οδηγίες

EN 9100: 2016. Aerospace series. “International Aerospace Quality Management System Standard Aviation, Space, and Defense Organizations”

EN 9102:2023. Aerospace series. Quality Systems. First Article Inspection requirements.

EN9001:2015. “Quality management systems - Requirements”

Hellenic Aerospace Industry (2024) “Company Quality Manual”

Hellenic Aerospace Industry (2024) “First Article Inspection Requirements”. Standard Procedures & Instructions

Hellenic Aerospace Industry (2023) “Calibration System Description”. Standard Procedures and Instructions

Hellenic Aerospace Industry (2023) “Evaluation of Suppliers” Standard Procedures and Instructions

Hellenic Aerospace Industry (2024) “Receiving Inspection” Standard Procedures and Instructions

EN ISO 13715:2020 (en) Technical product documentation — Edges of undefined shape — Indication and dimensioning

ASME Y14.24 (2020) Fundamentals “Engineering Drawing Practices”

Hellenic Aerospace Industry (2024) “Έλεγχος Ειδικών Διεργασιών”-Κατευθυντήρια Οδηγία

LM-Process Specification (2024) “Cleaning of aluminum and aluminum alloys”

Hellenic Aerospace Industry (2018) “Alkaline etch cleaning of aluminum alloys”-How to work instruction.

LM-Process Specification (2024) “Sulfuric acid anodizing of aluminum and aluminum alloys”

Hellenic Aerospace Industry (2023) “Magnetic Particle Testing (MT) for C-130J program”-
HAI Written Procedure

Hellenic Aerospace Industry (2023) “Fluorescent Penetrant Inspection for C-130J Program”-
HAI Written Procedure

LM-Process Specification (2022) “Forming and Fabrication of Metallic Parts”

Hellenic Aerospace Industry (2024) “Application of epoxy primer MIL-PRF-23377, Type I”-
How To Work Instruction

LM-Process Specification (2024) ”Marking parts and assemblies for identification and
inspection”

Hellenic Aerospace Industry (2024) “Final Inspection”-Standard Procedures & Instructions.

Ξένη βιβλιογραφία

Apostol E., Dragomir D. & Țîțu M. A. (2021) “Specific aspects of quality assurance and
management in the aerospace field Series: Applied Mathematics, Mechanics, and
Engineering” Vol. 64, Issue Special IV Technical University of Cluj-Napoca

Țîțu, M. A.& Pop, G. I. (2019). “Regarding Quality Management System in Aerospace
Industry Organizations”. Materials Science Forum, 957, 221–230.
doi:10.4028/www.scientific.net/msf.957.221

Rusu M., Soare I., Botan M., Dragomirescu A. & Militaru C. (2019) “FAI First Article
Inspection in production activity”. 7th International Workshop on Numerical Modelling in
Aerospace Sciences “NMA 2019”

Subramanya N., Satheesh Kumar A. R., Yadav V., Venkatesh R. K. (2022) “Manufacturing
process planning in aerospace systems” IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1258 012027

Tarba, C., Tonoiu, S., Tiriplica, P. G., & Ghionea, I. G. (2015). “Process Planning in
Manufacturing Systems. Applied Mechanics and Materials”, 760, 745–750.
doi:10.4028/www.scientific.net/amm.760.74510.4028/www.scientific.net/AMM.760.74

Nasrazadani, S., & Hassani, S. (2016). “Modern analytical techniques in failure analysis of
aerospace, chemical, and oil and gas industries. Handbook of Materials Failure Analysis with

Case Studies from the Oil and Gas Industry”, 39–54. doi:10.1016/b978-0-08-100117-2.00010-810.1016/B978-0-08-100117-2.00010-8

Dulux Protective Coatings (2014) “Two-pack coatings-Pot life”. Tech Notes

Bhat B.N. (2018) “Aerospace Materials and Applications” Chapter 2. NASA Marshall Space Flight Center.

Reithmaier L. & Sterkenburg R. (2014) “Standard Aircraft Handbook for Mechanics and Technicians” Seventh Edition

Śliwa R.E. , Pawłowska B., Balawender T. & Zwolak M. (2022) “Extrusion of Lightweight Aluminum and Magnesium Alloys Structures for Aviation Applications” Rzeszow University of Technology, The Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics.

Williams J. & Boyer R. (2020) “Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components”

Tan, J. & Ramakrishna S. “Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review”. Appl. Sci. 2021, 11, 6861. <https://doi.org/10.3390/app11156861>

Matuszak, J., & Zaleski, K. (2018). Analysis of deburring effectiveness and surface layer properties around edges of workpieces made of 7075 aluminium alloy. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 90(3), 515–523.

Q-Plus Labs (2013) “Understanding Dimensional Inspection”.

Rohit R. N. (2018) “Coordinate Measuring Machine (CMM)” International Journal of Mechanical and Industrial Technology. Vol. 6, Issue 2, pp: (13-19), Month: October 2018 - March 2019

Martínez-Viademonte M.P., Abrahami S., Hack T., Burchardt M., Terryn H. (2020) “A Review on Anodizing of Aerospace Aluminum Alloys for Corrosion Protection”

Englebert D. (n.d.) “Passivation of stainless steel” Imagineering Enterprises, Inc.

Atxaga G., Arroyo A. & Canflanca B. (2022) “Hot stamping of aerospace aluminium alloys: Automotive technologies for the aeronautics industry”. Journal of Manufacturing Processes. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.07.032>

Cherdpong P., Chinnawat S. & Thanayot M. (2020). “*Painting for Aircraft*”. Innovation Aviation & Aerospace Industry—International Conference 2020 (IAAI 2020), Chumphon, Thailand DOI:10.3390/proceedings2019039021

Lockheed Martin (2023), “First Article Inspection Guidebook” SQAG001.

Hellenic Aerospace Industry (2018) “Defect & cause coding system for the internal and external rejections”, Directorate Operating Instructions

Ελληνική βιβλιογραφία

Tüv-Hellas (2016) “Οδηγός για το Πρότυπο ISO 9001:2015”.Ειδική Έκδοση. (Tüv Nord)

Τσαρούχας Π., Ντέλιου Κ. (2018) “Σύγχρονες Μέθοδοι στη Διοίκηση & Τεχνολογία Ποιότητας” Εκδόσεις Δίσιγμα

Μαρεντάκης Γ. (2017) Μελέτη και κατασκευή υπολογιστικά ελεγχόμενου χώρου εργασίας εργαλειομηχανής. (Διπλωματική εργασία) Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Βουλγαράκη Χ. (2016) Θεωρία Μη Καταστροφικού Ελέγχου. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών & Βιομηχανικού Σχεδιασμού. ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας

Διαδικτυακές πηγές

HAI (n.d.) “Διαχείριση Ποιότητας”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 23 από <https://www.haicorp.com/el/company-el/quality-el>

HAI (n.d.) “Προϊόντα και Υπηρεσίες”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 23 από <https://www.haicorp.com/el/products-el/aerostructures-el>

Eten. “Κατανόηση του AS9100: The Aerospace Quality Management Standard”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 23 από

<https://china-maching.com/el/%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%8E%CE%BD%CF%84%CE%B1%CF%82-%CF%89%CF%829100-%CF%84%CE%BF-%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%84%CF%85%CF%80%CE%BF->

[%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7/](#)

Standards Stores “What is AS9102 First Article Inspection?”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 23 από <https://as9120store.com/aerospace-standards-explained/what-is-as9102-first-article-inspection/>

Ideagen (2019) “What are the Differences Between AS9102 Rev B and Rev C?”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 23 από <https://www.inspectionxpert.com/blog/what-are-the-differences-between-as9102-rev-a-and-rev-b>

Net-inspect (2023) “AS9102 First Article Inspection Report Rev B vs Rev C” Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 30 από <https://www.net-inspect.com/blog/as9102-rev-b-vs-rev-c/>

Hellenic Aerospace Industry “Προϊόντα και Υπηρεσίες”. Ανακτήθηκε 2023, Οκτώβριος 30 από <https://www.haicorp.com/el/>

Tetra inspection (2023) “What is the First Article Inspection and how to prepare for it?” Ανακτήθηκε 2023, Νοέμβριος 1 από <https://tetrainspection.com/first-article-inspection/>

Wright I. (2024) “First Article Inspections: What Engineers Need to Know”. Ανακτήθηκε 2023 Δεκέμβριος 2 από <https://www.engineering.com/story/first-article-inspections-what-engineers-need-to-know>

Rombotics “Περί του CNC” Ανακτήθηκε 2023 Δεκέμβριος 2 από <https://www.rombotics.com/%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AF-%CF%84%CE%BF%CF%85-cnc/>

Wayken “Types Of CNC Machines & Their Categories Explained” Ανακτήθηκε 2023, Δεκέμβριος 10 από <https://waykenrm.com/blogs/types-of-cnc-machines/>

Tyrrell M. (2017) “Tooling up to get the basics right” Ανακτήθηκε Δεκέμβριος 15, 2023 από <https://www.aero-mag.com/dawson-shanahan-tooling-aerospace-industry>

Aerofin Laboratories Limited (2023) “Adhesion Testing” Ανακτήθηκε 2023, Νοέμβριος 30 από <https://www.aerofinlabs.com/coating-evaluation/paint-testing/>

New Source Corporation (n.d.) “What are aerospace aluminum extrusions?” Ανακτήθηκε 2024, Απρίλιος 27 από <https://newssourcecorp.com/what-are-aerospace-aluminum-extrusions/>

[Bergsen.com \(n.d.\) “Types of Aerospace-Grade Metals”](https://bergsen.com/steel-product-in-the-aerospace-industry/) Ανακτήθηκε 2024, Απρίλιος 5, από <https://bergsen.com/steel-product-in-the-aerospace-industry/>

[PMD Inc. \(2017\) “Workmanship Standard”](https://pmdprecision.com/workmanship-standard/) Ανακτήθηκε 2024, Ιανουάριος 5, από <https://pmdprecision.com/workmanship-standard/>

“How to Convert Mylar Aerospace Drawings to 3D CAD” (n.d.) Ανακτήθηκε 2024, Ιανουάριος 16 από <https://www.cadcam.org/blog/how-to-convert-mylar-aerospace-drawings-to-3d-cad>

[Richardson M. \(2018\) “Controlling product quality with hardness testing”](https://www.aero-mag.com/controlling-product-quality-with-hardness-testing) Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 11 από <https://www.aero-mag.com/controlling-product-quality-with-hardness-testing>

[NDT-KITS \(2024\) “9 Reasons Why You Need a Metal Conductivity Meter”](https://ndt-kits.com/9-reasons-for-you-have-metal-conductivity-meter/). Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 11 από <https://ndt-kits.com/9-reasons-for-you-have-metal-conductivity-meter/>

[ZhonglianAluminum \(n.d.\) “Τεχνολογία χρωματισμού ανοδικής οξείδωσης προφίλ κράματος αλουμινίου”](https://gr.chinealuminium.com/info/anodic-oxidation-coloring-technology-of-aluminum/) Ανακτήθηκε 2024, Φεβρουάριος 12, από [https://gr.chinealuminium.com/info/anodic-oxidation-coloring-technology-of-aluminum-87188620.html](https://gr.chinealuminium.com/info/anodic-oxidation-coloring-technology-of-aluminum/)

“Διαδικασία ανοδικής οξείδωσης κράματος αλουμινίου”, (n.d.) Ανακτήθηκε 2024, Φεβρουάριος 12, από <https://gr.hw-aluminum.com/info/aluminium-alloy-anodic-oxidation-process-64819915.html>

[Fredericks P. \(n.d.\) “What is Chem Film \(Alodine\)?”](https://aerospacemetalsllc.com/what-is-chem-film/) Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 20 από <https://aerospacemetalsllc.com/what-is-chem-film/>

[Fredericks P. \(n.d.\) “Cadmium Plating: What Is It and What Are Its Benefits?”](https://aerospacemetalsllc.com/what-is-it-and-what-are-its-benefits/) Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 20 από <https://aerospacemetalsllc.com/what-is-it-and-what-are-its-benefits/>

“Magnetic Particle Inspections: A Guide”(n.d.) Αναρτήθηκε 2024, Μάρτιος 20 από <https://www.flyability.com/magnetic-particle-inspection>

“Beginner’s Guide to Fluorescent Penetrant Inspections”, (n.d.) Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 20 από <https://www.newenglandsales.com/blog/beginners-guide-to-fluorescent-penetrant-inspections/>

“Heat treating for the aerospace industry” (n.d.) Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 21 από <https://www.jmpforming.com/industries/aerospace/heat-treating.htm>

Koch S. (2020) “A quick guide to understanding aluminium temper designations”. Ανακτήθηκε 2024, Μάιος 2 από <https://www.shapesbyhydro.com/en/material-science/a-quick-guide-to-understanding-aluminium-temper-designations/>

Total Materia (2001) “Temper Designation System for Heat Treatable Aluminium Alloys” Ανακτήθηκε 2024, Μάιος 10 από <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=5>

Εικόνες - Πίνακες

Πίνακας 4.1. Bhat (2018)

Πίνακας 4.2. Bhat (2018)

Πίνακας 4.3. Reithmaier L. & Sterkenburg R. (2014) “Standard Aircraft Handbook for Mechanics and Technicians” Seventh

Πίνακας 5.1. Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 5.2. Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 5.3. Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 5.4. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 2.1. Țîțu M. A., & Pop G. I. (2019). “Regarding Quality Management System in Aerospace Industry Organizations”. Materials Science Forum, 957, 221–230. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.957.221

Εικόνα 2.2. Ζιάτα Ε. (2017). “Πρότυπο διαχείρισης ποιότητας ISO 9001:2015: από το risk assessment στο risk management”. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Εικόνα 4.1. Subramanya N., Satheesh Kumar A R, Yadav Vikas, Venkatesh R K (2022) “Manufacturing process planning in aerospace systems” IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1258 012027

Εικόνα 4.2. Αβραμούλη Δ. Καραγεώργος Α., Ντιντάκης Ι. & Ράπτη Ε. (2015) “Συστήματα Computer Numerical Control (CNC) και Computer Aided Manufacturing (CAM)” Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

Εικόνα 4.3. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.4. Śliwa R.E., Pawłowska B., Balawender T. & Zwolak M. (2022) “Extrusion of Lightweight Aluminum and Magnesium Alloys Structures for Aviation Applications” Rzeszow University of Technology, The Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics.

Εικόνα 4.5. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.6. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.7. PMD Inc. (2017) “Workmanship Standard” Ανακτήθηκε 2024, Ιανουάριος 5, από <https://pmdprecision.com/workmanship-standard/>

Εικόνα 4.8. Thome Precision “Your competent partner for Coordinate Measuring Technology” Ανακτήθηκε 2024, Μάρτιος 16 από <https://www.thome-precision.com/>

Εικόνα 4.9. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.10. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.11. Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.12. Hellenic Aerospace Industry (2024) “Marking of parts & assemblies”-How to work instruction

Εικόνα 4.13. Lockheed Martin (2023), “First Article Inspection Guidebook” SQAG001.

Εικόνα 5.1. Πηγή: Hellenic Aerospace Industry.

Εικόνα 5.2. Ιδία επεξεργασία

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.