KVALIFIKACE / CERTIFIKACE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ VÝROBA

Ing. Bohuslav Cabrnoch, Ph.D.
Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.

Úvod

Zvláštní procesy

- Výsledek procesu nelze ověřit následným monitorováním nebo měřením a případné nedostatky se projevují až po té, co je produkt používán
  - Kompozitní konstrukce
  - Lepení
  - Povrchové úpravy

NADCAP (National Aerospace and Defence Contractors Acreditation Program)

– celosvětový program pro akreditaci v leteckém průmyslu

Úvod

Zvláštní procesy dle EN 9100

7.5.2 Validace procesů výroby a poskytování služeb

Organizace musí validovat všechny procesy výroby a poskytování služeb v případě, že nelze výsledný výstup ověřovat následným monitorováním nebo měřením a nedostatky se tak projevují až poté, co je produkt používán nebo poté, co je služba dodána.

POZNÁMKA Tyto procesy jsou často označovány jako zvláštní procesy.

Validací musí být prokázána schopnost těchto procesů dosahovat plánované výsledky.

Pro tyto procesy musí organizace stanovit mechanismy, které mohou podle okolností zahrnovat

a) stanovení kritérií pro přezkoumání a schvalování procesů,

b) schvalování zařízení a kvalifikace pracovníků,

c) použití specifických metod a postupů,

d) požadavky na záznamy (viz 4.2.4) a

e) opakované validace.

Úvod

Kritické faktory výrobního procesu

- Průběžná kontrola všech klíčových výrobních kroků
- Většina materiálů má omezenou trvanlivost a vyžaduje řízené prostředí (skladování i zpracování)
- Eliminace potenciální možnosti kontaminace během skladby a lepení
- Opakovatelnost skladby a aplikace technologických materiálů
- Soustavná kontrola vytvrzování / konsolidace
- Mnoho potenciálních zdrojů výrobních vad během obrábění, manipulace a montáže
- Školení výrobních dělníků a techniků

Úvod

Hlavní atributy kompozitů pro zajištění kvality (výběr)

- Pro naskladňování a vyskladňování materiálu musí být vypracovány zvláštní postupy pro záznam skladování daného materiálu
- Fyzikálně-chemická kontrola konstituentů obvykle nestačí k odhalení odchylek ve strukturálních vlastnostech materiálu
- Obtížně kontrolovatelné dodržení skladby při ručním kladení
- Nebezpečí tvorby výrobních vad (porezita, vměstky, delaminace, ...) → 100% NDT kontrola kritických dílů
- Zranitelnost vytvrzených dílů při manipulaci a skladování (rázové poškození, ochrana hran, ...)

Řízení jakosti

Systém řízení jakosti – hlavní oblasti

Vytvoření systému postupů, které zajistí:

- jakost dodávaných materiálů
- mezioperační kontrolu výrobního procesu
- posoudí konformitu hotového výrobku s konstrukčními požadavky

Vstupní kontrola

Zajištění vstupní kontroly materiálů

- Provedení přejímacích (akceptačních) zkoušek při dodávce materiálu.
- Přejímací zkoušky se provádí dle materiálové specifikace
- Obvykle je většina přejímacích zkoušek prováděna na straně výrobce materiálu a součástí dodávky je materiálový atest s výsledky provedených zkoušek
- Nicméně materiálový atest od výrobce se nepovažuje za dostatečný k prokázání, že dodaný materiál splňuje všechny požadavky materiálové specifikace
- Důsledkem je, že alespoň část zkoušek je provedena i výrobcem kompozitního dílu

Vstupní kontrola

Příklad přejímacích zkoušek

- Nevytvrzený prepreg (3 vzorky/šarže)
  - Plošná hmotnost prepregu
  - Plošná hmotnost výztuže
  - Hustota pryskyřice
  - Hustota vláken
  - Množství těkavých podílů
  - Obsah pryskyřice
  - Fyzikálně-chemické vlastnosti
  - Tečení pryskyřice
  - Lepivost
- Vytvrzený prepreg (6 vzorků/šarže)
  - ILSS (UD 0°) při NT a 120°C
  - Pevnost a modul v tahu (UD 0°) při NT
  - OHT (skladba 50/40/10) při NT

Vstupní kontrola

Příklad přejímacích zkoušek

- Fyzikálně-chemické zkoušky
  - HPLC (High Performance Liquid Chromatography)
    - Chromatografická technika sloužící k separaci složek pryskyřice za účelem stanovení jejich přítomnosti a koncentrace
  - DSC (Diferenciální skenovací kalorimetrie)
    - Měření změn entalpie v závislosti na teplotě
  - IR (Infračervená spektroskopie)
    - Identifikace polymerů a jejich složek
  - Doba gelace
  - Viskozita

Vstupní kontrola

Doporučená frekvence přejímacích zkoušek pro jednu šarži materiálu

Number of Rolls Received	Test Frequency
1 – 10	1 from a randomly selected roll
11 – 30	2 from the first and last rolls
31 – 60	3 from the first, last, and randomly selected rolls
61 – 90	4 from the first, last, and randomly selected rolls
90 and more	One additional test for every additional 40 rolls from the first, last, and randomly selected rolls

DOT/FAA/AR-00/47, Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems

Kontrola výrobního procesu

- Před zahájením výroby by měl být výrobní proces kvalifikován prokázáním, že kombinace materiálů, výrobních přípravků, výrobních zařízení a výrobních postupů zajistí výrobu dílů s konzistentními materiálovými vlastnostmi vyhovujícími konstrukčním požadavkům
- Jakmile je výrobní proces pevně nastaven, neměl by se dále měnit bez detailního posouzení důsledků provedených změn
- Všechny relevantní výrobní parametry (vytvrzovací cykly, prostředí ve výrobních prostorech) by měly být přiměřeně řízeny a zaznamenávány
- Toleranční meze parametrů (např. vytvrzovací teploty) by měly být definovány a zdůvodněny

Kontrola výrobního procesu

- Po počáteční kvalifikaci výrobního procesu se i nadále provádí zkoušky pro ověření jeho konformity (souběžné vzorky - process control panels)
- Součástí systému řízení jakosti je i školící a kvalifikační program pro výrobní dělníky a techniky
- Je nutné zavést vhodný postup pro zamezení kontaminace lepených povrchů u sendvičových konstrukcí vyráběných z vytvrzených potahů a ostatních následných lepících
- Součástí lepícího procesu je i výroba souběžných vzorků pro ověření jeho konformity
- Ověřování výrobního procesu - kontrola prvního kusu (FAI)

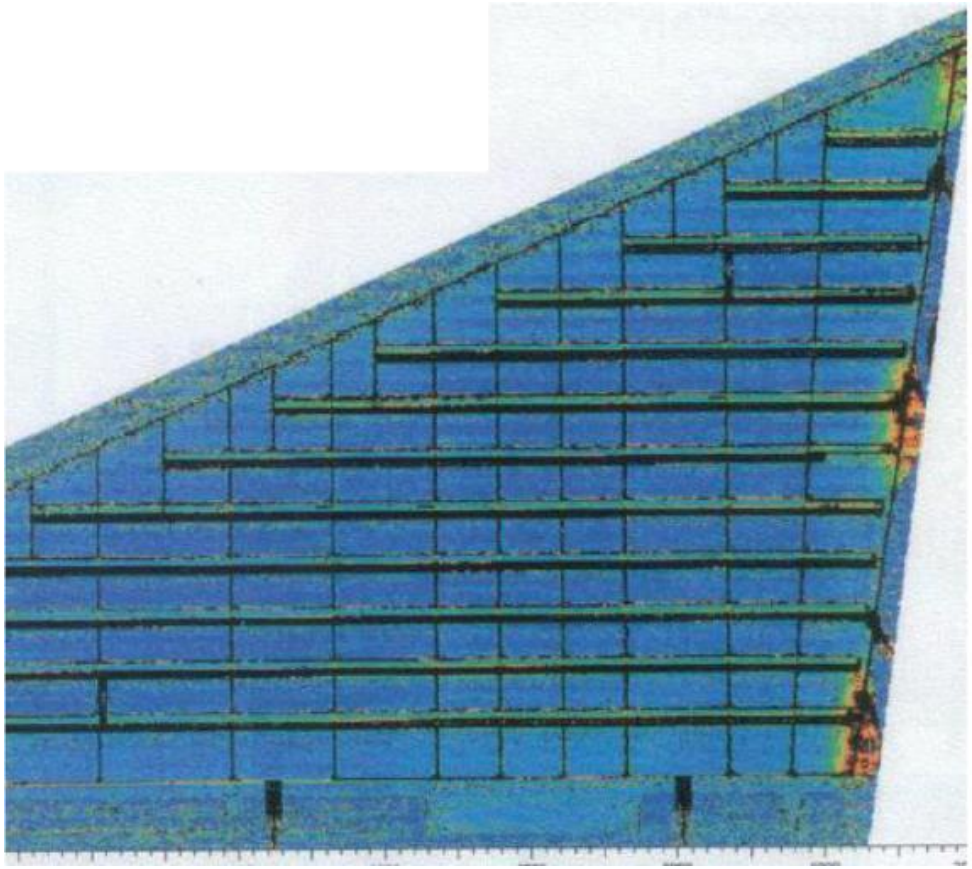
Výstupní kontrola

Posouzení konformity dokončeného dílu

- Postupy výstupní kontroly musí zajistit, že celý díl vyhovuje funkčním a konstrukčním požadavkům.
- Rozměrová kontrola a NDT jsou hlavní části výstupní kontroly
- Nejpoužívanější NDT metodou pro kompozitní materiály je ultrazvuková metoda
- Shearografie, thermografie a poklep jsou vhodné metody pro přehledovou inspekci velkých lepených ploch. V případě nálezu vady těmito metodami je k její přesnější identifikaci následně použita ultrazvuková metoda
- RTG a CT jsou vyhrazeny pro velmi tlusté díly, kde je použití jiných metod nevhodné.

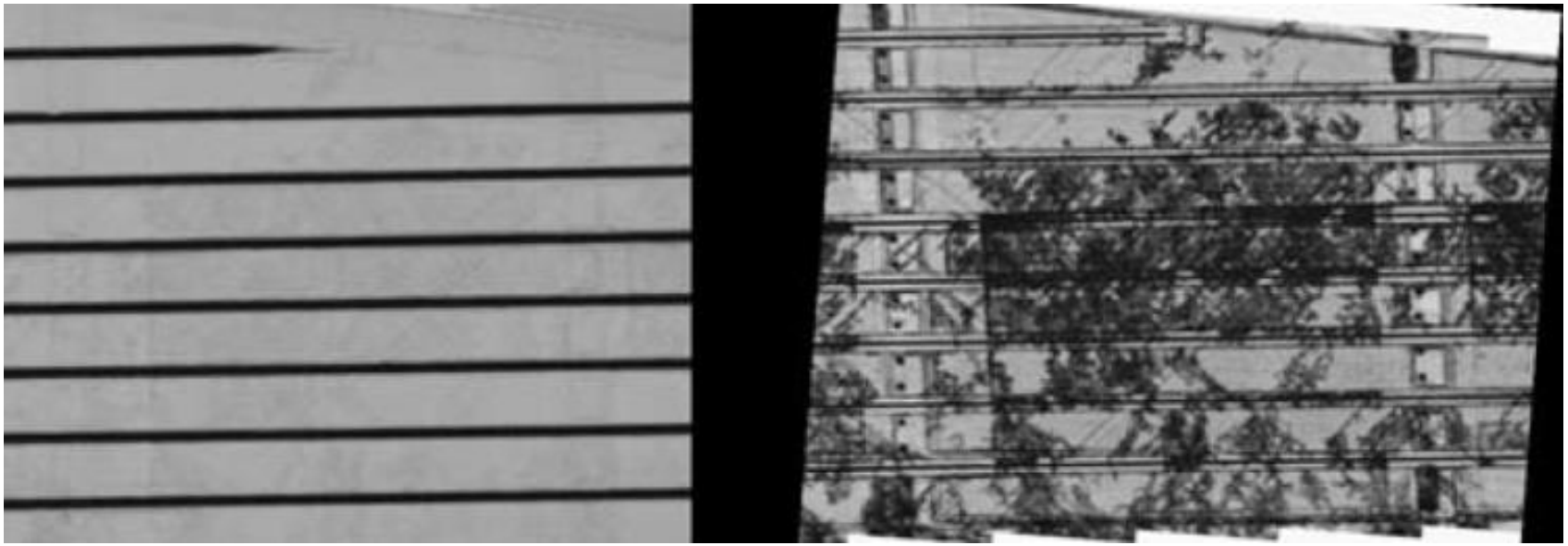
Výstupní kontrola

Ukázka C-skenu integrálně vyztuženého panelu



Výstupní kontrola

Porovnání nálezů NDT



1980
UT průchozí metoda
Frekvence sondy 1 MHz

2010
UT odrazová metoda
Frekvence sondy 3,5 MHz

Výstupní kontrola

Detekce výrobních vad pomocí kontaktních NDT metod

Defect	Visual Inspection	Tap Test	Ultrasonic C-Scan	Acoustic Flaw Detector	Fokker Bond Tester	Eddy Currents	Acoustic Emission
Porosity	Only possible on outer surface	NS	Successful	NS	NS	NS	NS
Prepreg gaps	Successful on outer surface	NS	Successful	NS	NS	NS	NS
Contamination (solid)	Successful on outer surface	NS	Success is particle size dependent	NS	NS	Only if metallic	NS
Contamination (backing sheet)	Detection only possible in thin laminates	Detection only possible in thin laminates	Successful	Successful	Successful	NS	NS
Fibre alignment lay-up order	Detection on outer surface	NS	Detection of lay-up order possible using pulse echo	NS	NS	Detection Possible	NS
Fibre/resin ratio variations	NS	NS	Detection possible	NS	NS	Detection Possible	NS
Prepreg joints	Successful on outer surface	NS	Detection in thin laminates	NS	NS	Detection Possible	NS
Interply delaminations	Possible on thin laminates	Possible on thin laminates	Successful	Good detection	Good detection	NS	Detection Possible
Microcracking	NS	NS	Detection Possible	NS	NS	NS	Detection Possible
Skin to core debonding	Outer surface disturbance can be visible	Successful for thin skins	Successful	Good detection	Good detection	NS	Detection Possible

ECSS-E-HB-32-20 Part 4A, Structural materials handbook

Výstupní kontrola

Detekce výrobních vad pomocí bezkontaktních NDT metod

Defect	X-ray Radiography	Holography	Thermography	Laser Ultrasonics	Air-coupled Ultrasonics (1) (2)	Computer Tomography	Laser Shearography
Porosity	Successful	NS	NS	NS	Successful(1)	Successful	NS
Prepreg gaps	Successful	Successful, mainly on thin laminates	NS	NS	Detection Possible(1)	Successful	Detection possible on thin laminates
Contamination (solid)	Successful	NS	NS	NS	? (1)	Successful	NS
Contamination (backing sheet)	Not suitable	Successful	Possible detection in thin laminates	Detection Possible	? (1)	Detection Probable	Detection Possible
Fibre alignment lay-up order	Successful	Detection possible	NS	NS	NS(1)	Successful	Detection Possible
Fibre/resin ratio variations	Detection possible	NS	NS	NS	? (1)	Detection Possible	NS
Prepreg joints	Successful	Detection in thin laminates	Detection Possible	NS	? (1)	Successful	Detection possible on thin laminates
Interply delaminations	NS	Successful	Detection Probable	Detection Possible	Successful(1)	Detection Probable	Detection Probable
Microcracking	On edges with penetrant enhancement	NS	NS	NS	Detection Possible(1)	NS	NS
Skin to core debonding	NS	Successful	Detection Probable	Detection Possible	Successful(1)	Detection Probable	Detection Probable

ECSS-E-HB-32-20 Part 4A, Structural materials handbook

Výstupní kontrola

Detekce provozních poškození pomocí kontaktních NDT metod

Defect	Visual Inspection	Tap Test	Ultrasonic C-Scan	Acoustic Flaw Detector	Fokker Bond Tester	Eddy Currents	Acoustic Emission
Matrix Microcracking	NS	NS	Detection Possible	NS	NS	NS	Detection Possible
Delaminations	Only on surface	Possible if severe	Successful	Successful	Successful	Only if Severe	Detection Possible
Broken Fibres	Only on surface	NS	Detection Possible	NS	NS	Detection Possible	Detection Possible
Crushed Core	Possible if severe	NS	Detection Possible	NS	NS	NS	NS
Skin:Core Debonding	Possible if severe	Possible if severe	Successful	Successful	Successful	NS	NS
Skin Debonding	Possible if severe	Possible if severe	Successful	Successful	Successful	NS	Detection Possible
Water in sandwich panels	NS	NS	Detection Possible	NS	NS	NS	NS

ECSS-E-HB-32-20 Part 4A, Structural materials handbook

Výstupní kontrola

Detekce provozních poškození pomocí bezkontaktních NDT metod

Defect	X-ray Radiography	Holography	Thermography	Laser Ultrasonics	Air-coupled Ultrasonics(1)	Computer Tomography (if available)	Laser Shearography
Matrix Microcracking	Possible on edges with penetrant	NS	NS	NS	Detection Possible	NS	NS
Delaminations	Detection Possible	Successful	Detection Probable	Detection Possible	Detection Possible	Successful	Detection Probable
Broken Fibres	Detection Probable	Detection Possible	Detection Possible	Detection Possible	?	Detection Probable	Detection Possible
Crushed Core	Successful	Detection Possible if severe	Detection Possible if severe	NS	Detection Possible	Successful	Detection Possible if severe
Skin:Core Debonding	Detection Possible	Successful	Detection Probable	Detection Possible	Successful	Detection Probable	Detection Probable
Skin Debonding	Detection Possible	Successful	Detection Probable	Detection Possible	Successful	Detection Probable	Detection Probable
Water in Sandwich Panels	Successful	Detection Possible	Successful	NS	Detection Possible	Successful	Detection Possible

ECSS-E-HB-32-20 Part 4A, Structural materials handbook