

Technická specifikace

Dokument popisuje materiálové testy včetně vlastností použitých materiálů. Část 1 obsahuje specifikaci materiálových testů. Část 2 popisuje vlastnosti materiálů použitých v testech. V části 3 jsou zobrazeny geometrie použitých vzorků nebo geometrické uspořádání testu. V příloze 1 je popsána jak příprava povrchu materiálu pro vakuovou impregnaci tak i postup pro vakuovou impregnaci.

Standardní formát výstupů testů (pokud není specifikováno jinak u jednotlivých testů):

- naměřené výsledky v digitální podobě (např. ve formátu .xls, .txt)
- report z měření ve formě dokumentu nebo prezentace v digitální podobě (např. .doc, .ppt, .pdf)

Report nebo prezentace bude vypracována v anglickém jazyce a prezentována zadavateli.

| | |
|---|-----------|
| Část 1: Specifikace materiálových testů | 2 |
| 1. Tahová zkouška při dané teplotě | 2 |
| 2. Tahový test mikrovzorků za dané teploty | 3 |
| 3. Elastické vlastnosti materiálů za dané teploty | 3 |
| 4. Ohyb vzorku a kontrola mikrotrhlin | 4 |
| 5. Smykové vlastnosti lepidel a skelných kompozitů | 4 |
| 6. Zkouška krutem pro kompozitní materiály | 5 |
| 7. Únavový test pro materiály za dané teploty | 5 |
| 8. Únavový test dutého profilu při teplotě LN2 | 6 |
| 9. Testování izolace makety cívk | 6 |
| 10. Zkouška tečení a relaxace napětí při dané teplotě | 7 |
| 11. Teplotní roztažnost materiálů při dané teplotě | 8 |
| Část 2: Specifikace požadovaných materiálů | 9 |
| Část 3: Geometrie vzorků | 15 |
| Příloha 1: Skladba izolačních materiálů | 19 |
| Příloha 2: Impregnační process | 20 |

Část 1: Specifikace materiálových testů

1. Tahová zkouška při dané teplotě

Popis: Tahová zkouška materiálového vzorku s předepsanou deformační rychlostí při dané teplotě. Vzorky pro zkoušku budou odebrány z předepsaného materiálu (např. dutý vodič [M01](#), válcovaný plech [M02-M10](#), lepený vzorek [M17-M20](#)). Parametry testů jsou zobrazeny v [Tab. 1](#).

| Test | Geometrie | Deformační rychlost | Reference | Teplota |
|-------|--|---------------------|-----------------------------------|---------|
| 1.1.1 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | ČSN EN ISO 6892-3 | 77 K |
| 1.1.2 | G01 nebo G02 | <10 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 77 K |
| 1.1.3 | G01 nebo G02 | 10 - 200 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 77 K |
| 1.1.4 | G01 nebo G02 | > 200 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 77 K |
| 1.2.1 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | ČSN EN ISO 6892-1 | 300 K |
| 1.2.2 | G01 nebo G02 | <10 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 300 K |
| 1.2.3 | G01 nebo G02 | 10 - 200 /s | ČSN EN ISO 6892-1 | 300 K |
| 1.2.4 | G01 nebo G02 | > 200 /s | ČSN EN ISO 6892-1 | 300 K |
| 1.3.1 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | ČSN EN ISO 6892-2 | 573 K |
| 1.3.2 | G01 nebo G02 | <10 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 573 K |
| 1.3.3 | G01 nebo G02 | 10 - 200 /s | ČSN EN ISO 6892-2 | 573 K |
| 1.3.4 | G01 nebo G02 | > 200 /s | ČSN EN ISO 6892-2 | 573 K |
| 1.4.1 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | ČSN EN ISO 6892-2 | 873 K |
| 1.4.2 | G01 nebo G02 | <10 /s | ČSN EN ISO 6892-3 | 873 K |
| 1.4.3 | G01 nebo G02 | 10 - 200 /s | ČSN EN ISO 6892-2 | 873 K |
| 1.4.4 | G01 nebo G02 | > 200 /s | ČSN EN ISO 6892-2 | 873 K |

Tab. 1 Parametry tahové zkoušky.

Výstupy měření:

1. Materiálové parametry

- a. Tahová křivka
- b. Mez kluzu (pro testy s deformační rychlostí < 0,1 /s)
- c. Mez pevnosti
- d. Tažnost (pro testy s deformační rychlostí < 0,1 /s)
- e. Kontrakce (pro testy s deformační rychlostí < 0,1 /s)

2. Tahový test mikrovzorků za dané teploty

Popis: Tahová zkouška materiálového vzorku s předepsanou deformační rychlostí při dané teplotě. Mikrovzorek o průřezu cca 1 mm² bude vyříznutý ze zvolených míst daného materiálu (viz např. geometrie [G09](#)). Parametry testu jsou zobrazeny v [Tab. 2](#).

| Test | Geometrie | Deformační rychlost | Reference | teplota |
|------|--|---------------------|--|---------|
| 2.1 | G01 nebo G02 | <0.1 /s | ČSN EN ISO 6892-3 ¹ | 77 K |
| 2.2 | G01 nebo G02 | <0.1 /s | ČSN EN ISO 6892-1 ¹ | 300 K |

Tab. 2 Parametry testů mikrovzorků.

Výstupy měření:

1. Materiálové parametry
 - a. Tahová křivka
 - b. Mez v kluzu
 - c. Mez pevnosti
 - d. Tažnost
 - e. Kontrakce

3. Elastické vlastnosti materiálů za dané teploty

Popis: Test elastických vlastností materiálů při dané teplotě za použití impulsní excitační metody. Parametry testů jsou zobrazeny v [Tab. 3](#).

| Test | Geometrie | Reference | Teplota |
|------|--|----------------------------|---------|
| 3.1 | G01 nebo G02 | ASTM E1876 | 77 K |
| 3.2 | G01 nebo G02 | ASTM E1876 | 300 K |
| 3.3 | G01 nebo G02 | ASTM E1876 | 573 K |
| 3.4 | G01 nebo G02 | ASTM E1876 | 873 K |

Tab. 3 Parametry zkoušky pro měření elastických vlastností.

¹ kromě velikosti vzorku

Výstupy měření:

2. Materiálové parametry
 - a. Modul pružnosti v tahu
 - b. Modul pružnosti ve smyku
 - c. Poissonovo číslo

4. Ohyb vzorku a kontrola mikrotrhlin

Popis: Cílem testu je nalezení minimálního poloměru ohybu vzorku (pro daný úhel ohybu) při kterém nevzniknou mikrotrhliny. Poloměr ohybu bude v rozmezí 1-5 násobku tloušťky vzorku. Ohnutý vzorek bude kontrolován na přítomnost povrchových mikrotrhlin pomocí kapilární metody. Vybrané vzorky budou testovány na přítomnost mikrotrhlin v objemu vzorku za pomoci rentgenu či obdobné technologie. Některé ohnuté vzorky budou následně rozříznuty v místě ohybu, přešetřeny a bude provedena zkouška tvrdosti podle Vickerse [ČSN EN ISO 6507-1](#) na 3 liniích v průřezu vzorku s rozestupem cca 1 mm. Výčet a parametry testů jsou zobrazeny v tabulce [Tab. 4](#).

| Test | Geometrie | Poloměr ohybu | Úhel | Teplota |
|------|--|---------------|------|---------|
| 4.1 | G03 | 20-100 mm | 12° | 300 K |
| 4.2 | G04 | 22-110 mm | 90° | 300 K |
| 4.3 | G04 | 360-410 mm | 90° | 300 K |
| 4.4 | Měření tvrdosti podle Vickerse ve 3 liniích s rozestupem 1mm | | | 300 K |
| 4.5 | Kontrola přítomnosti mikrotrhlin v objemu vzorku | | | 300 K |

Tab. 4 Parametry testů pro ohyb vzorku.

Výstupy měření:

Test 4.1-4.2:

1. Zhodnocení přítomnosti mikrotrhlin na povrchu vzorku pomocí kapilární metody.

Test 4.3-4.4:

1. Profil tvrdosti ze 3 linií
2. Měření změny geometrie průřezu vzorku

Test 4.5:

3. Zhodnocení přítomnosti mikrotrhlin uvnitř vzorku např. pomocí rentgenu.

5. Smykové vlastnosti lepidel a skelných kompozitů

Popis: Jedná se o test smykových vlastností kompozitního materiálu realizovaný pomocí tahové zkoušky dvojité přeplátovaného spoje měděných plechů (viz [G07](#)). Testy budou prováděny pro různé skladby kompozitu a materiály matrice a výztuže - vzorky budou vyříznuty z materiálů [M21-M25](#). Přehled parametrů pro jednotlivé testy je zobrazen v [Tab. 5](#).

| Test | Geometrie | Deformační rychlost | Reference | Teplota |
|------|---------------------|---------------------|----------------------------|---------|
| 5.1 | G07 | <0,1/s | ASTM D3528 | 77 K |
| 5.2 | G07 | < 0,1/s | ASTM D3528 | 300 K |

Tab. 5 Parametry testů smykových vlastností materiálů.

Výstup měření:

1. Materiálové parametry
 - a. Tahová křivka
 - b. Modul pružnosti ve smyku
 - c. Mez pevnosti ve smyku

6. Zkouška krutem pro kompozitní materiály

Popis: Zkouška krutem kompozitních materiálů za dané teploty. Materiálové vzorky budou odebrány v zadaném směru z kompozitu měď-izolace-měď ([M17-M20](#)) ve tvaru vhodném pro test. Přehled parametrů pro jednotlivé testy je zobrazen v [Tab. 6](#).

| Test | Geometrie | Deformační rychlost | Teplota |
|------|--|---------------------|---------|
| 6.1 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | 77 K |
| 6.2 | G01 nebo G02 | < 0,1/s | 300 K |

Tab. 6 Parametry zkoušky krutem.

Výstup měření:

1. Materiálové parametry
 - a. Modul pružnosti ve smyku

7. Únavový test pro materiály za dané teploty

Popis: Únavový test různých druhů materiálu, kompozitů a lepených spojů prováděný na sadě 12 ks vzorků. Vzorky pro zkoušku budou odebrány z předepsaného materiálu (např. dutý vodič [M01](#), válcovaný plech [M02-M10](#), lepený vzorek [M17-M20](#)). Vzorky budou při dané teplotě cyklicky zatěžovány předepsaným maximálním zatížením dokud se nezlomí příp. nebude dosažen předepsaný limit počtu cyklů. Ze sady měření při různých maximálních zatíženích bude sestavena S-N křivka. Přehled parametrů pro jednotlivé testy je zobrazen v [Tab. 7](#).

| Test | Geometrie | Počet změřených bodů křivky S-N | Počet cyklů | Teplota |
|-------|--|---------------------------------|---------------|---------|
| 7.1.1 | G01 nebo G02 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 77 K |

| | | | | |
|-------|--|----|---------------|-------|
| 7.1.2 | G01 nebo G02 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 300 K |
| 7.1.3 | G01 nebo G02 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 573 K |
| 7.1.4 | G01 nebo G02 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 873 K |
| 7.2.1 | G07 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 77 K |
| 7.2.2 | G07 | 12 | $10^3 - 10^6$ | 300K |

Tab. 7: Parametry únavového testu.

Výstupy měření:

1. Materiálové parametry
 - a. S-N křivka

8. Únavový test dutého profilu při teplotě LN₂

Popis: Dutý vodič [M01](#) bude ohnut pod úhlem 90 ° s předepsaným poloměrem ohybu. Poté bude první konec mechanicky upevněn a druhý konec bude cyklicky zatěžován silou kolmou k ose vodiče za účelem dosažení předepsané úhlové deformace. Při dosažení počtu cyklů 5 000, 10 000, 20 000, 30 000, 40 000 a 50 000 bude proveden test přítomnosti povrchových mikrotrhlin pomocí kapilární metody. Parametry testu jsou uvedeny v [Tab. 8](#).

| Test | Geometrie | Úhel vychýlení | Poloměr ohybu | Počet cyklů | Teplota |
|------|---------------------|----------------|---------------|-------------|---------|
| 8.1 | G06 | < 10° | 22-110 mm | 5 000 | 77 K |
| 8.2 | G06 | < 10° | 22-110 mm | 10 000 | 77 K |

Tab. 8: Parametry únavového testu dutého vodiče

Výstupy měření:

1. Vývoj zatěžovací síly v závislosti na počtu cyklů
2. Zhodnocení přítomnost mikrotrhlin na povrchu vzorku pomocí kapilární metody.

9. Testování izolace makety cívky

Popis: Cílem testu je prověřit elektrickou pevnost mezi dvěma vodiči a mezi vodičem a zemí makety cívky ([M26](#)) po cyklické zátěži. Na maketě cívky se provádí třibodové cyklické ohybové zatížení (referenční [ASTM D2344](#)) předepsaným maximálním zatížením při teplotě kapalného dusíku a vždy po zadaném počtu cyklů se provede měření elektrické pevnosti.

Testování elektrické pevnosti izolace

Elektrické testování makety cívky o 3 x 3 dutých profilech proběhne před tepelným a mechanickým zatěžováním a poté po každých 5 000 cyklech namáhání 3 bodovou metodou na střiž za teploty kapalného dusíku. Měří se elektrická pevnost mezi závitů a mezi závitem

a zemí. Měření elektrické pevnosti mezi závity se provádí při 3000 VDC. Po dosažení požadované úrovně napětí je provedeno měření odporu po 15 vteřinách R_{iz15} . Napětí se udržuje konstantní a měření odporu se provede znovu po 1 minutě R_{iz60} .

Měření se provede mezi závity 1 - 2; 5 - 6; 4 - 7.

Měření zemní izolace (izolace na vnější straně makety cívk) se provádí při napětí 3000 VDC. Podobně jako u měření elektrické pevnosti mezi závity, odpor se měří po 15 vteřinách a po 1 minutě při stále přiloženém napětí. Nastavení pro měření zemní izolace: uzemněná ocelová vodivá destička je umístěna na vnějším povrchu makety, přímo v kontaktu se zemní izolační vrstvou a na zvolený vodič na vnějším obvodu makety je přiložena požadovaná napěťová hladina.

Měření se provede mezi závitem a zemnicím páskem: 1 - zem; 5 - zem; 8 - zem.

Měřicí zařízení musí splňovat požadavky [ČSN EN 61557-2 ed. 2](#)

Parametry testu jsou v [Tab. 9](#).

| Test | Geometrie | Typ testu | Temperature |
|------|---------------------|--|-------------|
| 9.1 | G05 | únavový test (celkem 50 000 cyklů) a měření izolačního stavu každých 5 000 cyklů | 77 K |

Tab. 9: Parametry testu makety cívk

Výstup měření:

1. Měření stavu elektrické izolace po daném počtu únavových cyklů
2. Závislost maximální deformace vzorku na počtu cyklů

10. Zkouška tečení a relaxace napětí při dané teplotě

Popis: V případě zkoušky tečení se materiálový vzorek zahřeje na požadovanou teplotu a zatíží se předepsanou silou. Výsledkem měření je křivka tečení (závislosti prodloužení na čase).

V případě zkoušky relaxace napětí se materiálový vzorek zahřeje na požadovanou teplotu a je provedena požadovaná deformace. Výsledkem měření je časová závislost tahového napětí ve vzorku. Vzorky budou odebrány z předepsaného materiálu ([M01-M10](#)). Parametry testu jsou zobrazeny v [Tab. 10](#).

| Test | Geometrie | Typ testu | Reference | Teplota |
|------|--|----------------|--------------------------------|---------|
| 10.1 | G01 nebo G02 | zkouška tečení | ČSN EN 10319-1 | 300 K |

| | | | | |
|------|--|-----------------|--------------------------------|-------------|
| 10.2 | G01 nebo G02 | zkouška tečení | ČSN EN ISO 204 | 573 - 873 K |
| 10.3 | G01 nebo G02 | relaxace napětí | ČSN EN 10319-1 | 573 - 873 K |

Tab. 10: Parametry zkoušky tečení a relaxace napětí.

Výstup měření:

Test 10.1-10.2:

- Časová závislost deformace (křivka tečení)

Test 10.3.:

- Časová závislost tahového napětí

11. Teplotní roztažnost materiálů při dané teplotě

Popis: U materiálového vzorku bude naměřeno relativní prodloužení/zkrácení v závislosti na teplotě. Vzorek bude odebrán z předepsaného materiálu (např. dutý vodič [M01](#), válcovaný plech [M02-M10](#), lepený vzorek [M17-M20](#)) ve tvaru vhodném pro test. Parametry testu jsou v [Tab. 11](#).

| Test | Geometrie | Teplota |
|------|---------------------------|-------------|
| 11.1 | prodloužení v daném směru | 77 - 300 K |
| 11.2 | prodloužení v daném směru | 300 - 873 K |

Tab. 11: Parametry zkoušky pro měření teplotní roztažnosti.

Výstup měření:

1. Materiálové parametry
 - a. Závislost relativního prodloužení/zkrácení na teplotě

Část 2: Specifikace požadovaných materiálů

Cílem zadavatele je získání materiálu s požadovanými nebo lepšími vlastnostmi než uvedená minimální hodnota v [Tab. 12](#). V případě nedostupnosti požadovaného materiálu a prokázání této skutečnosti dodavatelem lze po vzájemném odsouhlasení mezi zadavatelem a dodavatelem použít alternativní materiál, který bude pokud možno rovnocenný. Zadavatel nebo dodavatel může namísto kteréhokoliv uvedeného materiálu navrhnout rovnocenný nebo lepší materiál, který může být použit po vzájemném odsouhlasení mezi zadavatelem a dodavatelem.

| Materiál | |
|----------|---|
| M01 | <p>Název: Bezokyslíkatá měď s příměsí stříbra (typické označení: CuAg0.1 (OF), CW019A, UNS C10700)</p> <p>Složení (hmotnostní procento): Cu+Ag min 99,99 %, Ag 0,08-0,12 %</p> <p>Stupeň vytvrzení: H02 (polotvrdá)</p> <p>Mez kluzu (0.2 %) při 20 °C: min 220 MPa</p> <p>Elektrická vodivost při 20 °C: min 97 % IACS</p> <p>Koeficient zbytkového odporu²: min 30</p> <p>Rozměry: dutý vodič s vnějším rozměrem 21 x 24 mm s poloměrem zaoblení hran 2 mm a chladícím kanálem elipsovitého tvaru $\varnothing 6 \times 8$ mm a navinutý na buben o průměru $\geq \varnothing 420$ mm (nebo nejbližší možný průměr)</p> |
| M02 | <p>Název: Bezokyslíkatá měď s příměsí stříbra (typické označení: CuAg0.1 (OF), CW019A, UNS C10700)</p> <p>Složení (hmotnostní procento): Cu+Ag min 99,99 %, Ag 0,08-0,12 %</p> <p>Mez kluzu (0.2 %) při 20 °C: min 270 MPa</p> <p>Elektrická vodivost při 20 °C: min 97 % IACS</p> <p>Koeficient zbytkového odporu: min 30</p> <p>Rozměry: plech, tloušťka 25 mm</p> |
| M03 | <p>Název: Zirkoniová měď (typické označení: CuZr0.1, UNS C15100)</p> <p>Složení (hmotnostní procento): Cu min 99,8 %, Zr 0,05-0,15 %</p> <p>Mez kluzu (0.2 %) při 20 °C: min 330 MPa</p> <p>Elektrická vodivost při 20 °C: min 95 % IACS</p> <p>Koeficient zbytkového odporu³: min 13,5</p> <p>Rozměry: plech, tloušťka 25 mm</p> |
| M04 | <p>Název: Disperzně vytvrzená slitina mědi a aluminu (typické označení: UNS C15760)</p> <p>Složení (hmotnostní procento): Cu min 98,9 %, Al_2O_3 1,1 %, se sníženým obsahem kyslíku³</p> <p>Mez kluzu (0.2 %) při 20 °C: min 410 MPa</p> <p>Modul pružnosti: min 18 GPa</p> <p>Elektrická vodivost při 20 °C: min 78 % IACS</p> <p>Termální vodivost při 20 °C: min 320 W/mK</p> <p>Hustota při 20 °C: min 8.81 g/cm³</p> |

² Residual Resistivity Ratio (RRR)

³ Low oxygen content grade

| | |
|-----|--|
| | <p>Koeficient termální roztažnosti: min 15 $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$ Rozměry: plech, tloušťka 25 mm</p> |
| M05 | <p>Název: Nerezová ocel (typické označení: AISI 304LN) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.) Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M06 | <p>Název: Nerezová ocel (typické označení: AISI 316LN) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.) Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M07 | <p>Název: Niklová superslitina 625 (typické označení: EN 2.4856, UNS N06625) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.) Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M08 | <p>Název: Titanová slitina (typické označení: Ti-6Al-4V, UNS R56400) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.). Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M09 | <p>Název: Hliníková slitina (typické označení: duraluminium EN AW 7068 T6, UNS A97068) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.). Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M10 | <p>Název: Hliníkový bronz (typické označení: CuAl10Fe3, UNS C62300) Rozměry: standardně dodávané tvary materiálu (plechy, tyče, kulatiny, profily, atd.). Přesná specifikace bude uvedena v příslušné objednávce.</p> |
| M11 | <p>Název: tkanina ze skelného vlákna S2, vazba satin weave type 6580 Typické materiálové vlastnosti při 20°C: Mez pevnosti: min 4500 MPa Modul pružnosti ve smyku: min 30 GPa Délkové prodloužení při přetržení: min 5% Měrný elektrický odpor: min 90 GΩ/cm Součinitel tepelné vodivosti: min 1.40 W/m-K Tloušťka: 0,15 mm Šířka: 30 mm</p> |
| M12 | <p>Název: tkanina ze skelného vlákna E, vazba satin weave, style 7781 Typické materiálové vlastnosti při 20°C: Mez pevnosti vlákna: min 3400 Mpa Průměr vlákna: 6 μm Délkové prodloužení při přetržení: min 4 % Měrný elektrický odpor min 400 GΩ/cm Součinitel tepelné vodivosti: min 1.2 W/mK Tloušťka: 0,22 mm Finish: silane finish kompatibilní s daným impregnačním systémem Šířka: libovolný formát zaručující, že daná vrstva tkaniny tvořící izolaci na materiálovém vzorku je z jednoho kusu tkaniny tj. nedochází k napojování nebo překryvu jednotlivých vrstev</p> |

| | | | | | | | | | |
|---------|---|---------|-------------------|---------|-------------------|-----|---------------------------|--------|-----------------|
| M13 | <p>Název: Polyimidová páska</p> <p>Typické materiálové vlastnosti při 20°C:</p> <p>Mez pevnosti: min 220 MPa</p> <p>Délkové prodloužení při přetržení: min % 70</p> <p>Modul pružnosti v tahu: min 2.3 GPa</p> <p>Hustota: min 1.35 g/cm³</p> <p>Poissonova konstanta: min 0,3</p> <p>Koeficient termální vodivosti: min 0,12 W/mK</p> <p>Elektrická pevnost: min 300 kV/mm (23°C/ 50% vlhkost)</p> <p>Dielektrická konstanta: min 3.3 (za 1 kHz)</p> <p>Tloušťka: 25 µm</p> <p>Šířka: 24 mm</p> | | | | | | | | |
| M14 | <p>Název: Primer CTD-450 (Výrobce: Composite Technology Development, Inc Engineered material solutions) nebo rovnocenný materiál</p> <p><u>Zadavatel poptává materiál se specifickými vlastnostmi spočívající (mimo jiné) v zajištění excelentní přilnavosti kompozitu skleněných vláken a pryskyřici (kyanoesterů) na povrch měděných materiálů, využívaný v oblasti termojaderné fúze pro zařízení typu tokamak, stelarátor, apod. a odolný v extrémních podmínkách kryogenních teplot nižších - 200°C. Těmto vlastnostem dle zkušeností zadavatele vyhovuje například výše odkazovaný materiál, který je standardně využíván v oblasti termojaderné fúze a jsou s ním dlouhodobé zkušenosti. Zadavatel připouští, aby bylo použito jiného materiálu, který vykazuje stejné nebo lepší vlastnosti než materiál uvedený zadavatelem. Naopak použití materiálu, který by neměl stejné nebo lepší vlastnosti, nelze připustit, neboť by vedlo ke zvýšenému riziku selhání materiálu z důvodu jiného výrobního postupu a vlastností, a tudíž by hrozilo zničení části nebo celého zařízení. Zadavatel uvedl název poptávaného materiálu příkladem, neboť není schopen objektivně popsat poptávaný předmět s použitím obecných technických podmínek, zejména ne tak, aby popis byl dostatečně přesný a srozumitelný. Přitom by hrozila záměna za nevhodný materiál, při jehož otestování by výsledky nemusely být pro zadavatele plně relevantní, <u>což by bylo kritické pro životnost a bezpečnost zařízení stavěného zadavatelem.</u></u></p> | | | | | | | | |
| M15 | <p>Název: Epoxidová pryskyřice</p> <p>Chemické složení:</p> <table data-bbox="363 1608 901 1753"> <tr> <td>DER-332</td> <td>50 pbw pryskyřice</td> </tr> <tr> <td>DER-736</td> <td>50 pbw pryskyřice</td> </tr> <tr> <td>NMA</td> <td>90 pbw vytvrzovací složka</td> </tr> <tr> <td>DMP-30</td> <td>2 pbw aktivátor</td> </tr> </table> | DER-332 | 50 pbw pryskyřice | DER-736 | 50 pbw pryskyřice | NMA | 90 pbw vytvrzovací složka | DMP-30 | 2 pbw aktivátor |
| DER-332 | 50 pbw pryskyřice | | | | | | | | |
| DER-736 | 50 pbw pryskyřice | | | | | | | | |
| NMA | 90 pbw vytvrzovací složka | | | | | | | | |
| DMP-30 | 2 pbw aktivátor | | | | | | | | |
| M16 | <p>Název: Epoxidová pryskyřice CTD-101K</p> <p>(Výrobce: Composite Technology Development, Inc Engineered material solutions) nebo rovnocenný materiál</p> <p>Zadavatel poptává materiál se specifickými vlastnostmi spočívající (mimo jiné) v zajištění excelentní mechanické pevnosti, využívaný v oblasti</p> | | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| | <p>termojaderné fúze pro zařízení typu tokamak, stellarátor, apod. a odolný v extrémních podmínkách kryogenních teplot nižších - 200°C. <u>Těmto vlastnostem dle zkušeností zadavatele vyhovuje například výše odkazovaný materiál, který je standardně využíván v oblasti termojaderné fúze a jsou s ním dlouhodobé zkušenosti. Zadavatel připouští, aby bylo použito jiného materiálu, který vykazuje stejné nebo lepší vlastnosti než materiál uvedený zadavatelem. Naopak použití materiálu, který by neměl stejné nebo lepší vlastnosti, nelze připustit, neboť by vedlo ke zvýšenému riziku selhání materiálu z důvodu jiného výrobního postupu a vlastností, a tudíž by hrozilo zničení části nebo celého zařízení. Zadavatel uvedl název poptávaného materiálu příkladem, neboť není schopen objektivně popsat poptávaný předmět s použitím obecných technických podmínek, zejména ne tak, aby popis byl dostatečně přesný a srozumitelný. Přitom by hrozila záměna za nevhodný materiál, při jehož otestování by výsledky nemusely být pro zadavatele plně relevantní, <u>což by bylo kritické pro životnost a bezpečnost zařízení stavěného zadavatelem.</u></u></p> |
| <p>M17 <i>Tah/krut</i> <i>PF</i> <i>EPOXY</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsán v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů: 1 ks Geometrie: dle G08, celkový rozměr 60 x 1000 x 42 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 60 x 1000 x 20 mm (2 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1 Matrice: M15 Výztuž: M11+M13</p> |
| <p>M18 <i>Tah/krut</i> <i>PF CTD</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsán v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G08, celkový rozměr 60 x 1000 x 42 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 60 x 1000 x 20 mm (2 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1 Matrice: M16 Výztuž: M11+M13</p> |
| <p>M19 <i>Tah/krut</i> <i>TF</i> <i>EPOXY</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsán v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G08, celkový rozměr 60 x 1000 x 40,88 Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 60 x 1000 x 20 (2 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 2 Příloha 1 Matrice: M15 Výztuž: M12</p> |
| <p>M20 <i>Tah/krut</i> <i>TF CTD</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsán v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Geometrie: dle G08, celkový rozměr 60 x 1000 x 40,88 Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 60 x 1000 x 20 (2 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 2 Příloha 1 Matrice: M16 Výztuž: M12</p> |
| <p>M21 <i>Smyk</i> <i>PF Epoxy</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G07, celkový rozměr 87,5 x 1000 x 64 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 50 x 1000 x 20 (3 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1 Matrice: M15 Výztuž: M11+M13</p> |
| <p>M22 <i>Smyk</i> <i>PF CTD</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G07, celkový rozměr 87,5 x 1000 x 64 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 50 x 1000 x 20 (3 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1 Matrice: M16 Výztuž: M11+M13</p> |
| <p>M23 <i>Smyk</i> <i>Primer</i></p> | <p>Kompozit plech-primer-plech popsané v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G07, celkový rozměr 87,5 x 200 x 60 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 50 x 200 x 20 (3 ks) Matrice: M14</p> |
| <p>M24 <i>Smyk</i> <i>TF Epoxy</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G07, celkový rozměr 87,5 x 1000 x 61,6 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 50 x 1000 x 20 (3 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 2 Příloha 1 Matrice: M15 Výztuž: M11+M13</p> |
| <p>M25 <i>Smyk</i> <i>TF CTD</i></p> | <p>Kompozit plech-izolace-plech připravený metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B. Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A. Celkový počet dílů počet: 1 ks Geometrie: dle G07, celkový rozměr 87,5 x 1000 x 61,6 mm Plech: M02 obrobený na požadovaný rozměr 50 x 1000 x 20 (3 ks) Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 2 Příloha 1</p> |



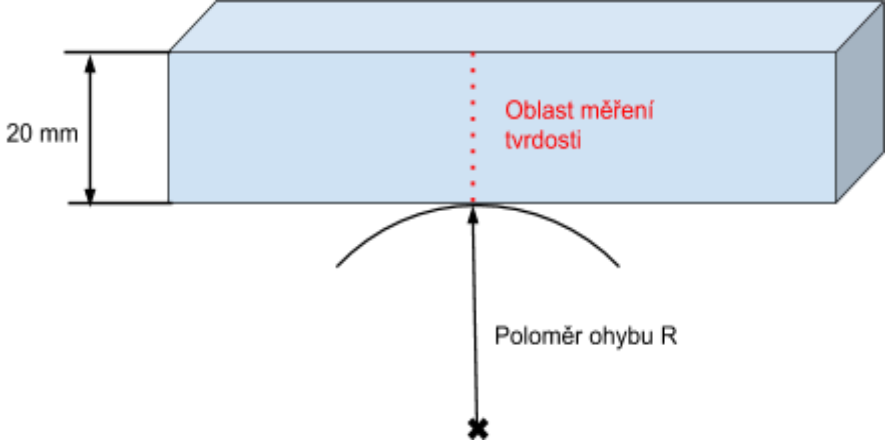
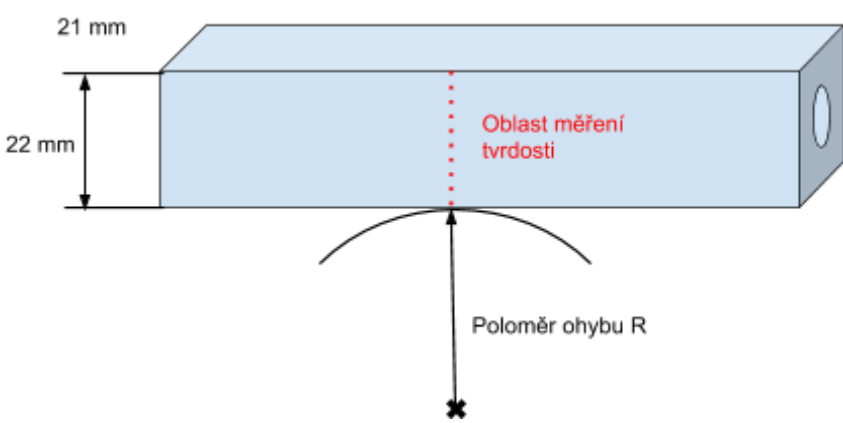
| | |
|--------------------|---|
| | Matrice: M16 Výztuž: M11 + M13 |
| M26 CS Epoxy | Maketa cívky z dutých vodičů dle geometrie G05 připravená metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B . Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A . Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1A,C,D Matrice: M15 Výztuž: M11 + M13 počet: 1 ks |
| M27 CS CTD | Maketa cívky z dutých vodičů dle geometrie G05 připravená metodou vakuové impregnace popsané v Příloze 2B . Povrchová úprava měděných částí je popsána v Příloze 2A . Skladba kompozitu (izolace): viz Obr. 1 Příloha 1A,C,D Matrice: M16 Výztuž: M11 + M13 počet: 1 ks |

Tab. 12: Seznam požadovaných materiálů a jejich parametrů.

Z důvodu identifikace nakoupeného materiálu dodavatel zajistí následující informace o materiálu:

1. Materiálový list
2. Dodavatel materiálu
3. Název materiálu
4. Složení materiálu
5. Směr válcování produktu (v případě válcovaných materiálů)
6. Teplotu a dobu stárnutí precipitačního vytvrzení (v případě precipitačně vytvrzených slitin)
7. Cena materiálu za dané objednané množství.

Část 3: Geometrie vzorků

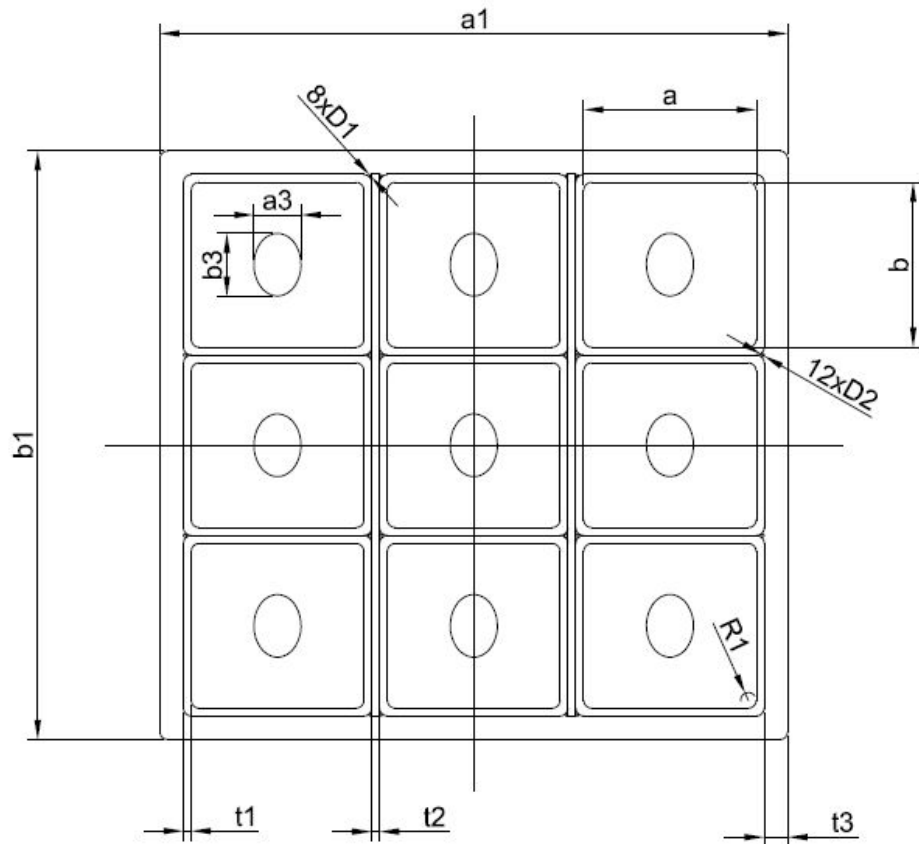
| Geometrie | Specifikace |
|-----------|--|
| G01 |  <p>Standardní vzorek pro zkoušku v tahu a krutu.⁴</p> |
| G02 |  <p>Standardní vzorek pro zkoušku v tahu a krutu.⁵</p> |
| G03 |  <p>Tloušťka plechu 20 mm - ostatní rozměry jsou volitelné s tím, že výsledky musí být možné škálovat na vzorek o velikosti 20 x 200 x 400 mm</p> |
| G04 |  <p>Dutý vodič s vnějším rozměrem 21 x 24 mm s poloměrem zaoblení hran 2 mm a chladícím kanálem elipsovitého tvaru $\varnothing 6.2 \times 8$ mm.</p> |

⁴ Doporučeno pro kompozitní materiály

⁵ Doporučeno pro izotropní materiály

G05

Maketa cívky reprezentující výsek z cívky centrálního solenoidu - svazek 3 x 3 dutých profilů o délce 200 mm.



rozměry dutého profilu $a = 24$ mm, $b = 21$ mm, $R1 = 1$ mm

tloušťka izolace $t1 = 1$ mm, $t2 = 0,6$ mm, $t3 = 3$ mm

$a3 = 6.2$ mm, $b3 = 8$ mm

délka výseku $l = 200$ mm

velikosti výplní $D1$ a $D2$ jsou takové, aby zamezili vzniku "resin rich area" většího než 0,8 mm

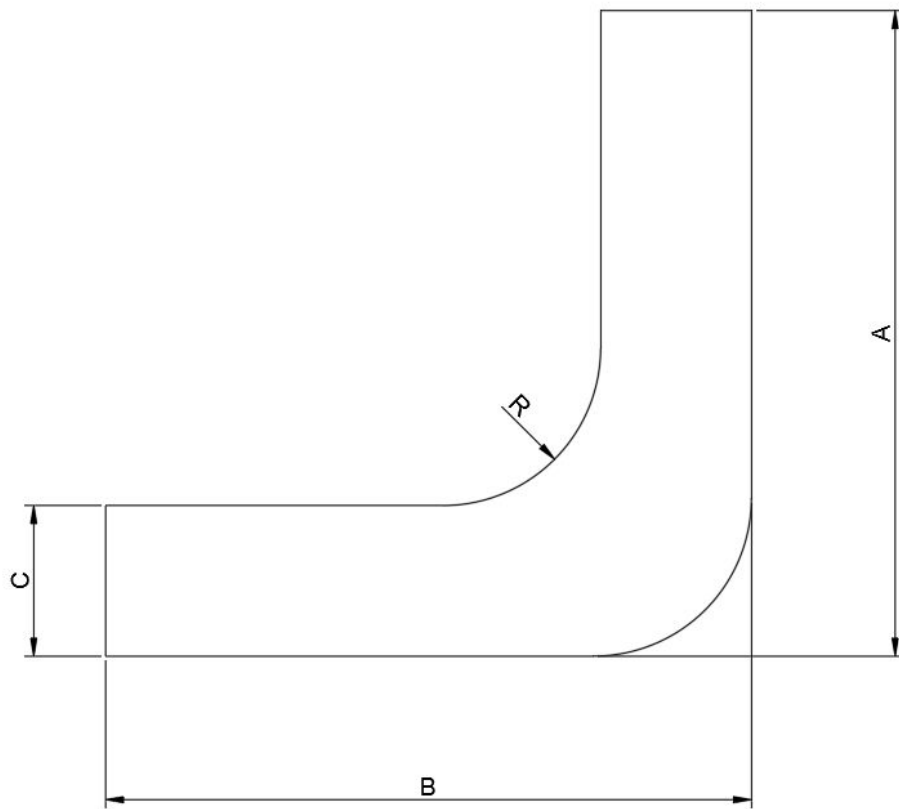
Složení izolace $t1$ = Příloha 1: Skladba izolačních materiálů bod A

Složení izolace $t2$ = Příloha 1: Skladba izolačních materiálů bod D

Složení izolace $t3$ = Příloha 1: Skladba izolačních materiálů bod C

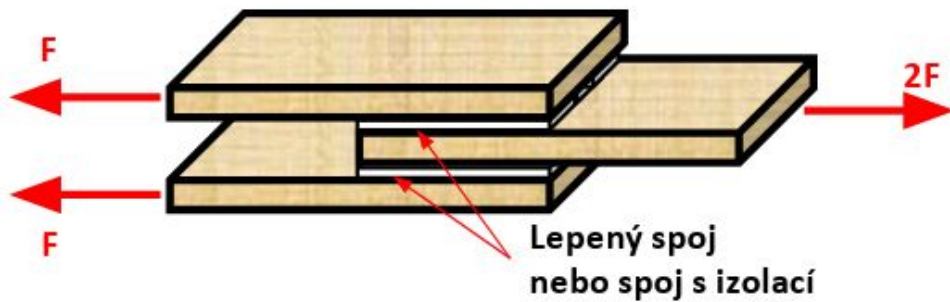
G06

Vzorek pro testování únavy dutého profilu. Body uchycení budou specifikovány později.



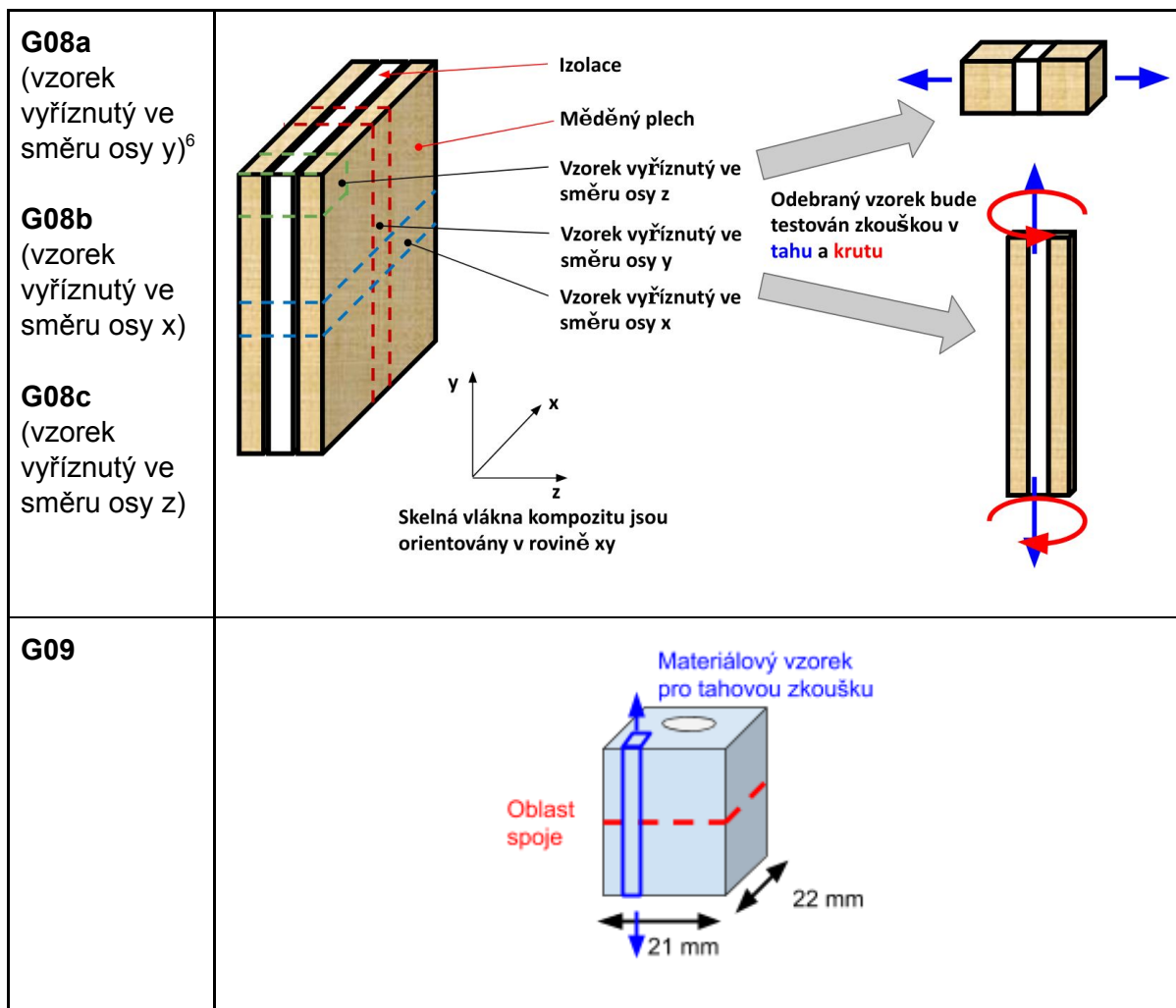
Rozměry $A = B = 200$ mm, $C = 21$ (22) mm, $R = 1-5 \times C$ mm

G07



Rozměry: šířka plátu = 20 mm, délka lepeného spoje = 12,5 mm, délka plátu 50 mm, tloušťka plátu = 20 mm, tloušťka lepeného spoje 1 mm.

Skladba izolace na každém z měděných povrchů je specifikována v [Příloze 1](#).

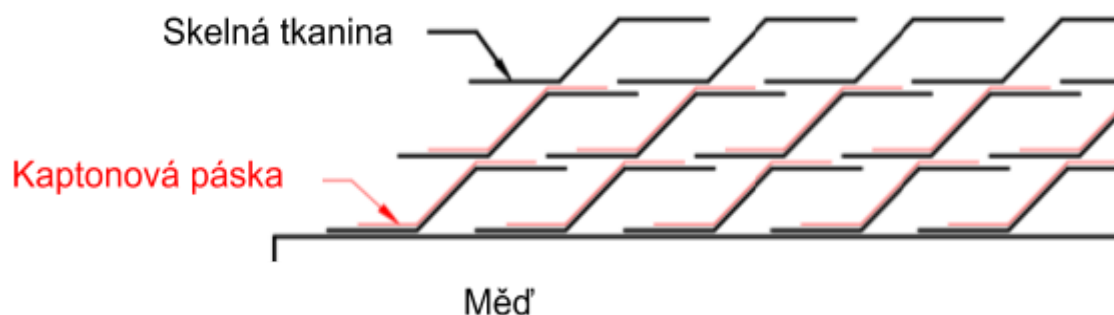


⁶ osa y odpovídá “warp” směru spodní vrstvy skelné tkaniny ([Příloha 1 Obr. 2](#)) nebo směru navíjení skelné tkaniny v případě navíjených izolací ([Příloha 1 Obr. 1 a Y.](#))

Příloha 1: Skladba izolačních materiálů

A. Skelná tkanina + kaptonová páska:

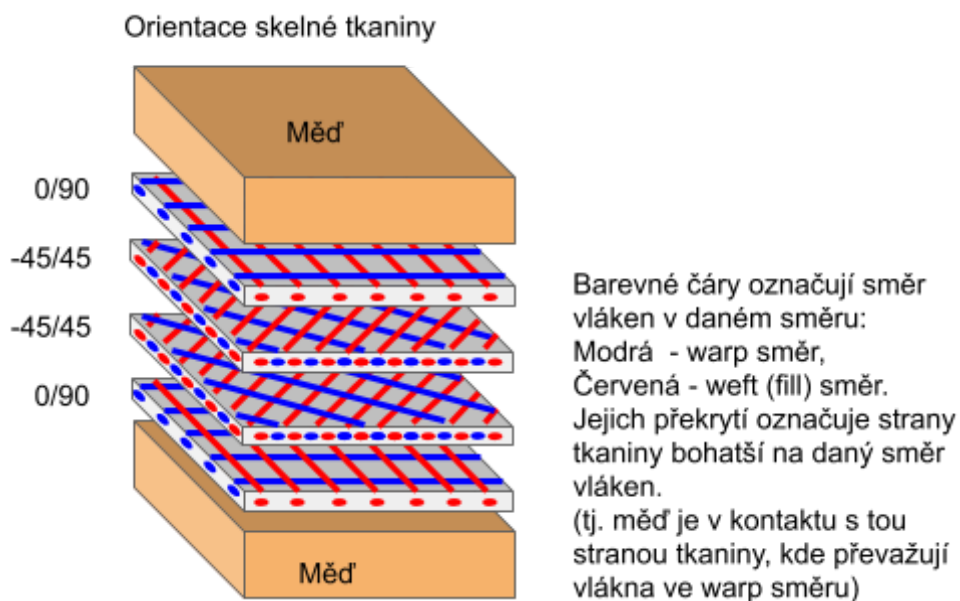
Parametry: tloušťka a šířka skelné tkaniny 0,15 x 30 mm, tloušťka a šířka kaptonové pásky 0,025 x 24 mm, 50% překrytí jednotlivých vrstev



Obr. 1: Skelná tkanina + kaptonová páska

B. Skelná tkanina v kvazi-izotropní konfiguraci

Parametry: tloušťka skelné tkaniny 0,22 mm, celková tloušťka izolace po stlačení vrstev 0,8 mm



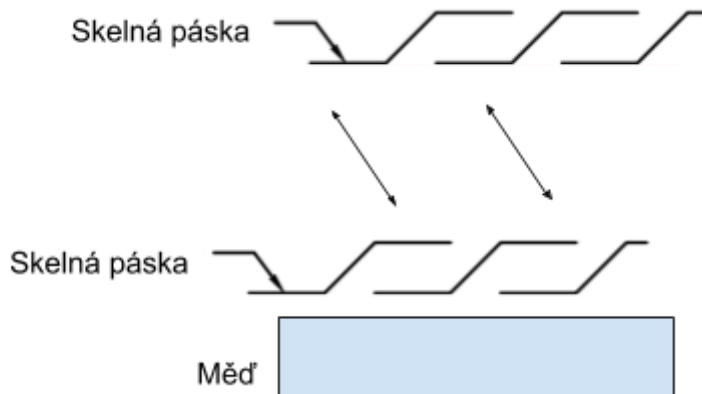
Obr. 2: Vrstvení skelné tkaniny v kvazi-izotropní konfiguraci

C. Skelná tkanina v zemní izolaci makety cívky

Počet vrstev zemní izolace závisí na tloušťce vybrané izolační pásky - 20 vrstev pro pásku 0,15 x 30 mm, 50% překrytí jednotlivých vrstev.

D. Skelná tkanina v radiální mezizávitové izolaci makety cívky

Složení totožné s bodem D, předpokládané množství vrstev: 2 (tloušťka 0,6 mm)



Obr. 3: Vrstvení skelné tkanina v kvazi-izotropní konfiguraci

Příloha 2: Impregnační proces

A. Příprava povrchu materiálu:

1. Očištění mědi ethanolem. Otřete a opláchněte.
2. Styčné plochy otryskejte pomocí pískových částic oxidu hlinitého o hrubosti 80 (průměrná velikost částic 0.17 mm) jmenovitého tlaku vzduchu 5 atm - otryskat všechny oblasti tak, aby měl povrch mědi jednotný vzhled. Tryska by měla být přibližně 75 až 105 stupňů k tryskanému povrchu.
3. Otryskejte povrchy stlačeným dusíkem (čistý a filtrovaný), abyste odstranili veškerý otryskávací písek.
4. Měď omyjte a opláchněte ethanolem, abyste zajistili úplné odstranění viditelných nečistot.
5. Měď se nechá oschnout na vzduchu po dobu 10 minut.
6. Pomocí štětce naneste na povrch základní nátěr ("primer"). Materiál se poté zavěsí v konvekční peci, aby se získala B-fáze základního nátěru. Jakmile je dosaženo B-fáze (což je indikováno malým množstvím adheze mezi latexovou rukavicí a základním nátěrem), materiál je vyjmut z pece a připraven k navinutí pásy ze skelných vláken.

B. Příprava skelných vláken a impregnační proces:

S-skelná textilie se suší při 105 ° C po dobu 1 hodiny. Vzorky se umístí do uzavřené formy. Forma se před přenosem pryskyřice odplyní.

C. Postup pro impregnant VUPOXY E - 1K

Přenos pryskyřice se provádí za použití vakuové impregnace při 40 ° C. Tlak v nádobě je snížen na 13.33 Pa, jakmile je forma naplněna, je natlakována na 1 atm., aby se epoxid vtlačil do všech dutin. Po vyčerpání pryskyřice z nádoby je vzorek vytvrzen pomocí těchto vytvrzovacích teplot:

- a. 4 h na 60° C
- b. 4 h na 80°C
- c. 12 h na 93° C

impregnant CTD 101K má postup předepsaný výrobcem