

# Jak získat nejlepší tepelný profil

Ing. Martin Abel

V první článku o problematice „jak získat nejlepší teplotní profil“ vysvětlím základní specifikace a připojování termočlánků pro vytvoření tepelného profilu elektronických sestav v pájecích procesech.

Klíčovými přínosy jsou funkce termočlánků a jejich konstrukce, význam dimenzování termočlánku a barevného kódování a to, jak určit vhodné termočlánky pro konkrétní aplikaci a jak je správně připevnit.

Termočlánky jsou zhotoveny ze dvou vodičů (drátů) z různých kovů (slitin) spojených dohromady. Tento spoj mezi dvěma vodiči je zpravidla vytvořen spájením dvou vodičů pomocí hořáku nebo svařováním natupo. Velikost termočlánku je obvykle dána rozměry dvou vodičů namísto velikosti spoje vzniklého v bodě spájení vodičů. Velikost spoje zpravidla odpovídá 2,5násobku průměru drátu. Spoj se může do jisté míry měnit, takže specifikovat rozměr termočlánku není nejlepší nápad. Nejlepším určujícím prvkem je rozměr drátu. Nejobvyklejší způsoby specifikace velikosti termočlánku jsou „AWG“ a průměr drátu.

Ve své praxi jste se jistě už setkali s pojmem AWG. Jednotka AWG znamená *American wire gauge* = Americká kabelová míra. Jedná se o americkou normu, která se používá od 19. století a v podstatě značila počet průchodů strojem při tažení drátu, tj. vyšší číslo AWG určuje menší průměr drátu. Technologie se změnila, ale jednotky zůstaly, a tak se dráty měří v AWG.

I když to vypadá složitě, AWG slouží ke zjištění rozměrů drátu termočlánku. Drát termočlánku se určuje rovněž průměrem vodičů. Průměr obou vodičů musí být stejný. Průměr vodiče je plocha kruhu vytvořeného vodičem při pohledu na průřez nebo „konec“ vodiče. Plocha kruhu se vypočítá známým vzorcem  $\pi \times \text{poloměr}^2$ . V *tabulce 1* jsou uvedeny některé velikosti měrek a jejich průměry v palcích a v dalším sloupečku průměry v mm<sup>2</sup>:

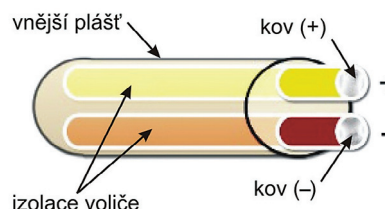
Tabulka 1

AWG	Průměr (v palcích)	Průměr (v mm <sup>2</sup> )
22	0,0253	0,326
24	0,0201	0,205
26	0,0159	0,129
28	0,0126	0,081
30	0,0100	0,051
32	0,008	0,032
34	0,0063	0,020
36	0,005	0,013
38	0,004	0,008
40	0,0031	0,005

Nejčastější rozměry drátu termočlánku používané pro pájení přetavením nebo pájení vlnou ve Spojených státech jsou: 30 a 36 AWG, někdy 40 AWG. V jiných zemích je nejčastějším rozměrem 0,03 mm<sup>2</sup>, což podle *tabulky 1* není ani 30, ani 36, ale spíše 32 AWG. Metoda specifikace rozměru termočlánku skutečně závisí na tom, kde (ve které zemi) byl zakoupen. I když převod je jednoduchý a většina výrobců vyrábí ekvivalentní velikosti, je dobré pochopit, že rozměr AWG se bude používat v USA, zatímco plocha v milimetrech se bude používat téměř ve všech ostatních zemích světa.

## Izolace termočlánku

Jak již bylo řečeno, termočlánky se skládají ze dvou vodičů, z nichž každý je vyroben z jiné kovové slitiny. Tyto dva vodiče musejí zůstat vzájemně elektricky oddělené, dokud nedosáhnou „horkého spojení“. V tomto spoji se měří teplota, napětí (zpravidla méně než 50 mV), jež spoj generuje, je funkcí této teploty. Je velmi důležité, aby tyto dva vodiče zůstaly vzájemně oddělené, jak se vrátí zpět do měřicího přístroje, stejně jako každý elektrický obvod. A tady právě vstupuje do hry izolace. Pokud by v zařízení byla použita tato dvojice drátů dosahující pouze normální pokojové teploty většina standardních izolací na drátu by stačila. Tyto dva vodiče jsou však v mnoha pájecích procesech obvykle vystaveny teplotám kolem 300 °C, takže je nutno použít izolaci pro podstatně vyšší teplotu.



Jak je zřejmé z tohoto obrázku, termočlánky mají izolaci na vodičích a na vnějším plášti.

Izolace je použita na třech místech: izolovaný je každý vodič a izolace obaluje dva izolované vodiče dohromady. Izolace je často popisována jako jeden materiál na druhém materiálu. Jsou-li tedy vodiče izolovány teflonem a plášť je rovněž teflonový, je izolace drátu termočlánku nazývána teflon na teflonu. Drát termočlánku může mít na vodičích jiný plášť, avšak tyto dva vodiče jsou téměř vždy izolovány stejným materiálem, i když nemají vždy stejnou barvu.

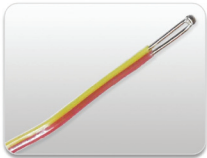


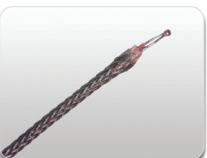
Barvy izolace mají svůj význam a existují normy barev vodičů termočlánku, celkového pláště a konektorů specifické pro danou zemi. Nicméně protože většina zařízení k profilování pájecího procesu používá termočlánky typu „K“, barvy podle normy ANSI ISA-MC96.1-1982 běžně používané v USA jsou: žlutá pro kladný vodič a červená pro vodič záporný. Stejný význam má barva pláště. Hnědá zpravidla odkazuje na „termočlánekovou kvalitu“ materiálu slitinového vodiče, což znamená, že jej lze použít jako termočlánek v libovolném bodě jeho délky prostým odříznutím a svařením dvou vodičů dohromady. Je-li v USA plášť žlutý (u typu „K“), dráty mají pravděpodobně

ANSI CODE	ANSI MC 96.1 AMERICAN THERMOCOUPLE GRADE	ANSI MC 96.1 AMERICAN EXTENSION GRADE	International IEC 584-3	International IEC 584-3 <i>Intrinsically Safe</i>	BS 1843 CZECH / BRITISH	DIN 43710 DUTCH/ GERMAN	JIS C 1610-1981 JAPANESE	NFE-18001 FRENCH
<b>K</b>								









„prodlužovací kvalitu“, což znamená, že jsou vhodné pouze k prodloužení drátu termočlánekové kvality v dlouhých délkách při pokojové teplotě. Nikdy nepoužívejte drát termočlánek

prodlužovací kvality k vytvoření horkého spoje, k horkému spoji termočlánek je třeba použít pouze slitinové páry termočlánekové kvality.

### Toto jsou některé typické typy izolace používané při většině pájecích procesů:

Název	Popis	Přednosti	Nevýhody
<b>Přírodní teflon®</b> (známý také jako: PFA, TFE, PTFE)    Max. teplota teflonu: 260 °C	Všechny formy teflonu jsou si podobné. Byly vyrobeny kvůli prodlužovací schopnosti a v širším sortimentu barev. Většina teflonů má stejné základní charakteristiky. U menších rozměrů drátu je plášť přírodního teflonu jasný a sotva viditelný, avšak slouží k přidržování dvou vodičů dohromady.  <b>Přírodní teflon (čirý) se pozná podle barvy izolace drátu uvnitř</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hladký, čirý a úhledný</li> <li>Možnost zbarvit pro snazší identifikaci</li> <li>Snadné odstraňování izolace</li> <li>Možnost použít pro většinu drátů libovolných rozměrů</li> <li>Nízká cena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Některé pájecí procesy mohou dosahovat mezní teploty</li> <li>Říká se, že hořící teflon má nepříznivé účinky na zdraví</li> <li>Velmi nízký záporný náboj při nabíjení třením (problém ESD)</li> </ul>
<b>Kapton®</b> (známý také jako: Polyimid)    Max. teplota kaptonu: 316 °C	Přírodní kapton® má hnědou nebo jantarovou barvu. Často je obalený spirálou a tvoří plášť kolem dvou vodičů.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hladký, čirý a úhledný</li> <li>Lze jej použít při většině teplot pájecího procesu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velmi tuhý, rád se zaplétá</li> <li>Nelze protlačovat drát menší než 30 AWG</li> <li>Velmi obtížné se barví kvůli identifikaci</li> <li>Cena vyšší než u teflonu</li> </ul>
<b>Sklolaminát (známý také jako: Sklo nebo skleněné opletení)</b>    Max. teplota sklolaminátu: 482 °C	Sklolaminátem jsou opleteny vodiče ve formě pláště. Skleněné opletení je někdy nasyceno materiálem, jenž brání jeho roztřepení.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Je slučitelný s pájecími teplotami</li> <li>Je velmi pružný</li> <li>Lze jej barvit kvůli identifikaci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nízká cena</li> <li>Může se třepit a rychle nabýt ošklivého vzhledu</li> <li>Zlomená skleněná vlákna působí znečištění</li> <li>Odstraňování izolace je obtížnější</li> <li>Barva se po zahřátí zbarví dohněda</li> <li>Sklo se může poškodit otěrem nebo přílišným ohýbáním</li> </ul>
<b>Opletení z nerezové oceli (známé také jako: SSOB)</b>    Max. teplota SSOB: Stejná jako izolace uvnitř. (Nerezové opletení NEZVÝŠÍ teplotu, kterou může snést vnitřní izolace.)	Nerezovou ocel, případně jiné vhodné slitiny je možno přidat k většině typů izolace. Hlavním účelem je zvýšit trvanlivost izolace a vytvořit ochranu před elektrickými poruchami. V tomto případě byla opletením doplněna skleněná izolace s cílem prodloužit její trvanlivost.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lze použít pro většinu typů izolace</li> <li>Lze použít ke svázání několika párů termočláneků</li> <li>Zvyšuje pevnost a trvanlivost</li> <li>Při správném uzemnění tvoří elektrické stínění</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zvyšuje tuhost termočláneků</li> <li>Zvyšuje cenu</li> <li>Nezvyšuje mezní teplotu</li> <li>Při nesprávné úpravě konců se může dotknout termočláneků</li> <li>Ostré hroty na koncích vám mohou poranit prsty</li> </ul>

V další části si probereme různé způsoby připevnění termočlánků

Název	Popis	Přednosti	Nevýhody
<b>Kyanoakrylát (super lepidlo)</b> 	Kyanoakrylátové lepidlo se občas používá, není to však k připojování ta nejlepší metoda. I když má jisté přednosti, nechová se přátelsky k procesu pájení, takže je lépe se jí vyhnout.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snadno se nanáší</li> <li>• Rychle tvrdne</li> <li>• Snadno se odstraňuje</li> <li>• Je k dispozici ve většině výrobních dílen</li> <li>• Poskytuje přijatelné uvolnění napětí drátu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nevyhovuje teplotám pájky</li> <li>• Při pájecí teplotě má sklon k odpařování a při opakovaných průchodech bude hořet, což při každém použití povede k vyšším hodnotám teploty</li> <li>• Je to dobrý izolátor; je-li příliš tlustý, bude potlačovat hodnotu teploty</li> </ul>
<b>Epoxid vytvrzovaný ultrafialovým zářením</b> 	UV Cure Epoxy® zajišťuje pevný kontakt s velmi krátkou dobou tvrdnutí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilní po dosti dlouhou dobu</li> <li>• Tvrdne během 10 sekund</li> <li>• Možnost připevnění ke kovům i plastům</li> <li>• K vytvrzení nevyžaduje zahřívání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyžaduje investici ca \$1,500 až \$2,000 za zdroj ultrafialového světla</li> <li>• Těžko se odstraňuje bez poškození produktu</li> <li>• Je obtížné termočlánek získat zpět</li> </ul>
<b>Hliníková fólie s kaptonovým páskem</b> 	Hliníková fólie poskytuje pevný kontakt s povrchem – kaptonový pásek zvyšuje jistotu adheze.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snadné odstranění bez poškození produktu</li> <li>• Dlouhodobá stabilita</li> <li>• Možnost použití menších kousků fólie bez ohrožení adheze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dvoufázová operace vyžaduje delší dobu ve srovnání s jinými popsanými metodami</li> </ul>
<b>Vzduchem vytvrzovaný epoxid</b> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dlouhodobá stabilita</li> <li>• Možnost připevnění ke kovům i plastům</li> <li>• Je průhledný</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Správné vytvrzení může trvat hodiny</li> <li>• Těžko se odstraňuje bez poškození produktu</li> <li>• Je obtížné termočlánek získat zpět</li> </ul>
<b>Hliníková fólie</b> 	Hliníková fólie zajišťuje pevný kontakt s povrchem.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snadno se nanáší</li> <li>• Snadno se odstraňuje bez poškození produktu</li> <li>• Dlouhodobá stabilita</li> <li>• Přesnost – lze připevnit na velmi malé součástky</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtížná aplikace na velmi malých kontaktních plochách, např. vývodech součástek</li> <li>• Fólie není průhledná, takže není vidět poloha termočlánku</li> </ul>
<b>Vysokoteplotní pájka</b> 	Vysokoteplotní pájka je pravděpodobně nejstabilnější způsob připevňování.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dlouhodobá stabilita na vhodných kovových plochách</li> <li>• Přesnost – lze připevnit na velmi malé součástky</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nepříliš mnoho materiálů</li> <li>• Může ovlivnit složení slitiny pájeného spoje</li> <li>• Vysoká cena</li> <li>• Vyžaduje zručnost při pájení</li> </ul>
<b>Mechanické připevnění pomocí ECD Temprobe®</b> 	ECD Temprobe® je nejjednodušší způsob připevnění.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rychlé a snadné připevnění a odstranění</li> <li>• Funguje dobře na „mokré“ pájecí pastě</li> <li>• Nepoškozuje produkt</li> <li>• Možnost připevnění na kovy i plasty</li> <li>• Stíněná konstrukce chrání termočlánek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V peci vyžaduje svislou vzdálenost nad deskou 1/2–3/4 palce</li> </ul>
<b>Kaptonový pásek</b> 	Pásek Kapton® je pravděpodobně nejčastěji používaná metoda připevnění.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snadné připevnění</li> <li>• Snadné odstranění</li> <li>• Nízká cena</li> <li>• Běžně používaný materiál</li> <li>• K dispozici na většině výrobních dílen</li> <li>• Průhledný materiál umožňující přesné umístění termočlánku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Není tak stabilní jako ostatní metody; při zahřátí se může zvednout</li> </ul>

Společnost ECD pro své teplotní profiloměry používá sklolaminátovou izolaci. Jestliže termočlánky nejsou vystavovány zauzlení nebo ohybům, měly by vydržet dlouhou dobu. Sklolaminát snese vysoké teploty – i teploty vyžadované pro bezolovnaté pájení – bez jakýchkoliv problémů.

Nejtrvanlivější a nejpřesnější způsob připevňování při profilování pájených spojů je vysokoteplotní pájka. Nejtrvanlivější prostředek k profilování nekovových součástek je epoxid.

V dalších vydáních budeme pokračovat v problematice tepelných profilů. [www.teplotni-profilomery.cz](http://www.teplotni-profilomery.cz)