

Hliníkové vodiče a jejich používání

Ing. Michal Kříž, IN-EL, spol. s r. o.

V této informaci nebudeme uvádět podrobné informace k vlastnostem hliníku z hlediska jeho používání v silové (resp. silnoproudé) elektrotechnice, pouze uvedeme, na co je vhodné v elektrických instalacích při používání hliníkových vodičů a kabelů dbát. Uvádíme to proto, že s hliníkem se můžeme setkat:

- stále ještě ve starých instalacích, které byly provedeny před rokem 1990 – do té doby bylo hliník v elektrických instalacích nejen možno používat, ale byl podle tehdy ještě platné normy v elektrických instalacích upřednostňován – aby mohla být na instalace používána měď, musela se pro ně povolovat výjimka,
- ale i v nových instalacích tam, kde je použit vodič průřezu alespoň $16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$, a to pro výrazně nižší cenu než má při zajištění stejné vodivosti měď.

V každém případě je však hliník svými vlastnostmi natolik odlišný od mědi, že je nutno si tyto vlastnosti uvědomit a umět je při práci s hliníkem respektovat.

Základní pokyny pro správné provedení spojů

Spoje vodičů musí být provedeny tak, aby byl zaručen stálý a spolehlivý vodivý styk spojovaných vodičů bez nadměrných přechodových odporů (mají být co nejmenší), aby nebyly ohroženy osoby (např. přerušením ochranného vodiče, resp. vodiče PEN) nebo okolí (např. nebezpečím požáru při nadměrném zahřívání spoje s nedokonalým stykem) a aby nenastaly provozní poruchy v důsledku vadných spojů (zejména např. vznik přepětí v důsledku přerušení vodiče N a v důsledku toho poškození připojeného zařízení).

Proto je třeba dbát, aby spoje byly provedeny co nejpečlivěji a měly po skončené montáži žádané vlastnosti. Též je nutné věnovat pozornost správnému zacházení s vodiči a spojovacím materiálem a dbát, aby byl vždy použit vhodný a vyhovující materiál. Při spojování hliníkových vodičů je nezbytné mít stále na paměti zvláštní vlastnosti těchto vodičů.

Při práci s hliníkovými vodiči je zapotřebí mít na zřeteli odlišné vlastnosti hliníku v porovnání s mědí a tomu způsob práce přizpůsobit. K tomu je třeba si zapamatovat tyto zásady a pokyny:

- a) užívání hliníkových vodičů o průřezu od 16 mm^2 výše v elektrických zařízeních nepovažovat jen za provizorní a méněcennou náhradu měděných vodičů, neboť hliníkové vodiče se v těchto případech používají jako rovnocenné měděným vodičům,
- b) pro spojování hliníkových vodičů volit podle daných podmínek tepelné nebo mechanické způsoby,
- c) veškeré montážní práce spojené se spojováním, odbočováním a připojováním provádět vždy pečlivěji a svědomitěji než u měděných vodičů,
- d) dbát, aby použité hliníkové vodiče a spojovací materiál (svorky, spojky) vyhovovaly příslušným požadavkům (viz TNI 37 0606) a aby se používalo jen správných montážních nástrojů a pomůcek,
- e) obaly a izolaci hliníkových vodičů odstraňovat opatrně, aby se jádro vodičů nepoškodilo, a jádro vodiče pečlivě očistit, popř. konzervovat,
- f) při svorkovém spojení (připojení) sevřít ve svorce hliníkové vodiče dostatečným tlakem, aby vznikl co nejmenší přechodový odpor spoje; přitom však nesmí na vodič působit nadměrný tlak, způsobující takové tečení vodiče, které by svorka vlastní pružností nemohla vyrovnávat,
- g) při vlastním připojování, spojování a odbočování hliníkových vodičů postupovat tak, aby se náležitě využilo všech výhod daného vzoru svorek,
- h) při montáži využít možností, kterými lze zvětšit spolehlivost spojů a tím zajistit bezpečnost provozu elektrických zařízení,
- i) v prostorách vlhkých a mokřích provést účinná opatření proti vzniku a působení elektrochemické koroze.

Dále jsou uvedeny podrobněji jen otázky týkající se přímo správného provedení spojů hliníkových vodičů. Podrobně o všech otázkách pojednává TNI 37 0606.

Vlastnosti hliníkových vodičů

Hliníkové vodiče mají v porovnání s měděnými odlišné vlastnosti, k čemuž musíme při práci s nimi přihlížet. Zejména je nutno uvažovat tyto vlastnosti:

Měrná elektrická vodivost hliníku ($33 \text{ až } 35 \mu\text{S/m}$) je menší než u mědi ($56 \text{ až } 57 \mu\text{S/m}$); v elektrických instalacích obvykle postačí pro stejné proudové zatížení, popř. stejné oteplení volit hliníkový vodič o 1 stupeň většího průřezu než u vodiče měděného. Na toto zvětšení průřezu nutno pamatovat při volbě spojovacího materiálu (velikost připojovacích svorek).

Mechanická pevnost hliníkových vodičů v porovnání s měděnými (pevnost v tahu min. 220 MPa) je menší (70 až 90 MPa u měkkého hliníku na jádra silových kabelů, 90 až 130 MPa u polotvrdého hliníku na jádra izolovaných vodičů a sdělovacích kabelů, 130 až 170 MPa u tvrdého hliníku na jednožilové vodiče PEN a ochranné vodiče), takže hliníkové vodiče jsou měkčí a je proto třeba s nimi při protahování, rovnání, ukládání apod. pracovat pečlivěji.

Tečení hliníku je jeho trvale postupující deformace působením tlaku, které je tím větší, čím je hliník měkčí a čím je stlačující síla větší. Nejsou-li použité svorky dostatečně pružné, aby vyrovnaly vliv této deformace, může snadno s dalšími nepříznivými vlivy (oxidace, rozdílná teplotní roztažnost hliníku a materiálu svorky) dojít ke zmenšení styčného tlaku (popř. k uvolnění vodiče ve svorce) a tím k nadměrnému zvětšení přechodových odporů ve spoji, zahřívání spoje a k dalším závažným provozním poruchám.

Tečení hliníku se podstatně zmenší, použije-li se při montáži spoje předběžné deformace jádra vodiče (viz dále).

Oxidace hliníkových vodičů je další jejich nepříjemnou vlastností, neboť na povrchu obsaženého jádra se působením ovzduší rychle vytváří vrstvy kyslíčnicku. Protože podstatně zvětšuje přechodové odpory, je nutno při montáži spoje vodič od ní očistit a vhodně konzervovat. Naproti tomu vrstvička kyslíčnicku zabraňuje další korozi.

Elektrochemická koroze nastává při styku hliníku s jinými kovy za přítomnosti elektrolytu (vlhký vzduch, mořská voda, kyseliny, louhy apod.), hygroskopického prachu nebo zplodin koroze apod. Protože se hliník k většině kovů chová jako elektropozitivní, je ve většině případů styku s jinými kovy narušován; při déletrvajícím působení vlhkosti na spoj může snadno dojít i k porušení vodiče.

Podrobnosti o elektrochemické korozi a odolnosti hliníku proti chemickému působení jsou obsaženy v TNI 37 0606.

Předností hliníkových vodičů je to, že hliník netvoří zplodiny při hoření (takže se oblouky při zkratech lokalizují), je lehký a snadno zpracovatelný (ohýbáním, řezáním, vrtáním apod.), je poměrně snadno svařitelný i v největších průřezích (šroubové spoje lze v mnoha případech nahradit spolehlivějšími spoji svařovanými) a čistý hliník odolává dobře korozi (v mnoha případech lépe než měď – je např. vhodný do prostředí s parami dusičnanů).

Způsoby mechanického spojování hliníkových vodičů

V případech, kde je to technicky možné a kde se nepožaduje snadná rozpojitelnost spojů, se má přednostně použít spojů vytvořených tepelnými způsoby (svařováním, pájením). Správně provedené spoje nemají téměř žádnou poruchovost a má se jich používat všude tam, kde se požaduje malá poruchovost a zlepšená spolehlivost provozu.

Naproti tomu tam, kde je z provozních důvodů nutná snadná rozpojitelnost spojů nebo kde tepelné spojení je nesnadno proveditelné, popř. prakticky nemožné, se použijí spoje mechanické. Přitom se dbá, aby spojů bylo co nejméně a vodiče aby nebyly zbytečně přerušovány (např. se použije odbočení z nepřerušovaného hlavního vodiče).

Z mechanických spojování hliníkových vodičů přicházejí v elektrických instalacích v úvahu tyto způsoby:

- spojování svorkováním (šroubové spoje),

- spojování vrubováním (trubkové spoje),
- spojování lisováním,
- spojování svařováním zastudena.

Pro běžné práce při montážích se převážně užívá spojování svorkováním a vrubováním, neboť tyto spoje mají proti ostatním spojmům určité přednosti (poměrná rychlost a snadnost provedení spojmů, použití snadno přenosného a ovladatelného ručního nářadí).

Manipulace s vodiči. S hliníkovými vodiči musíme při dopravě, uskladňování a jakékoli jiné práci zacházet s náležitou opatrností a pečlivostí (zejména u vodičů menších průřezů). I nepatrné poškození povrchu jádra (škrábnutí, lehké naříznutí apod.) může vést k porušení (přelomení) vodiče. Vodič se může snadno zlomit i při ostrých ohybech provedených kleštěmi s ostrými hranami.

Proto je nutno hliníkové vodiče chránit před mechanickým poškozením (opatrným zacházením, vhodným balením apod.), a to i při dopravě, přenášení, uskladňování a odkládání. Při zatahování vodičů je třeba pracovat s citem, zejména se nesmí s vodičem škubat, zadrhnutý vodič násilně protahovat trubkami a průchody; při kladení jednožilových vodičů dbát, aby byl vodič kladen na rovný podklad bez ostrých výstupků, hran, ostrých ohybů, překroucení, smyček.

Provedení svorek. Svorky elektrických předmětů mají být provedeny tak, aby byly vhodné k připojování hliníkových vodičů. Podle TNI 37 0606 se na elektrických předmětech uvede označení se zřetelem k materiálu připojovaných vodičů, a to:

- značkou Al (popř. s přeškrtnutou značkou mědi Cu), mají-li svorky upraveny jen k připojování hliníkových vodičů,
- značkou Al/Cu (u starších vzorů též značkou CuAl), mají-li svorky upraveny k připojování měděných i hliníkových vodičů,
- bez značky, jsou-li svorky upraveny jen k připojování měděných vodičů.

Další podrobnosti o značení svorek jsou uvedeny v TNI 37 0606 podle toho, zda se jedná o svorky pro připojování vodičů plných (doplňuje se "s"), slané (doplňuje se "r") nebo ohebných (doplňuje se "f") – u svorek pro hliníkové vodiče nepřichází v úvahu, svorky pro měděné ohebné vodiče se označují Cu f).

Na elektrických předmětech se svorkami ověřenými na vhodnost a spolehlivost spojmů hliníkových drátů a lan do 70 mm² pro obvyklé provozní poměry v domovních a podobných rozvodech, pro spoje určené pro náročné provozní poměry v rozvodech (zejména průmyslových s trvalým a častým zatěžováním vodičů, se zvláštními požadavky na spolehlivost a bezporuchovost provozu, u důležitých kontrolních a měřicích obvodů, v obvodech, kde není pro nepřístupnost spojmů nebo z jiných provozních důvodů možno provádět pravidelné kontroly a dotahování spojmů atd.), se umísťují značky Al 1. Ověřovací zkoušky z hlediska zvláštních požadavků na tyto svorky jsou rovněž uvedeny v TNI 37 0606.

Úprava hliníkových vodičů. Při odstraňování izolace se nesmí jádro naříznout ani štípnout (zejména je to důležité u vodičů menších průřezů); vodič se má odizolovat jen v potřebné délce.

Konec vodiče se musí důkladně očistit od vrstvy oxidu; rovněž je nutno očistit styčné plochy dílů svorek z hliníku a slitin hliníku, pokud nebyly vhodně konzervovány. Toto očištění se má provést až těsně před samotnou montáží. Při opracování hliníku se nesmí použít nástrojů, jichž bylo předtím použito k opracování mědi nebo jiných kovů (v případě nezbytnosti nutno nástroje pečlivě očistit); k mazání (při vrtání apod.) použít lín. Též se pro čištění hliníku nesmí použít skelný nebo smrkový papír (plátno), protože zbytky brusiva zamáčkнутé do hliníku zvětšují přechodový odpor v místě styku.

Hliníkové dráty se čistí oškrabováním nožem takovým tlakem, aby se odvalovaly jen drobné třísky kovu. Dráty většího průřezu a čepová lana lze upravit též tak, že se v místě určeném k připojení natrou vazelínou a pak uběrákem zdrsní nebo se lehce opilují pilníkem natřeným tukem.

Hliníková lana s malým počtem drátků lze čistit jako dráty oškrabováním nožem, ostatní ocelovým kartáčem a suchým hadrem (kartáče se nesmí použít současně k čištění jiných kovů). Odizolovaný

konec lana se poněkud rozplete, aby se dráty částečně oddělily a jejich očištění bylo snazší; očištěné lano se opět zformuje do kulata a stočený povrch se ještě mírně oškrábe nožem. Lana větších průřezů lze též očistit pilníkem.

Při připojování hliníkových lan do svorek, u nichž svorkový šroub působí přímo na vodič nebo je vodič při dotahování zplošťován do roviny, popř. by se lano mohlo samo rozplést, je vhodné připojovaný konec lana provažením upravit jako čep, který se pak připojuje jako plný vodič (drát). Podrobnosti o čepování hliníkových lan jsou v TNI 37 0606.

Hliníkové pásy je nutno v místě styku upravit tak, aby byly rovné, bez znatelných hrbolů a zborcení. Vyrovnané styčné plochy se očistí ručně ocelovým kartáčem nebo okružním drátěným kartáčem upnutým v ruční nebo stojanové brusce; při čištění tryskaným pískem se očištěné plochy zbaví zbytků zrnek písku. Pásy větších rozměrů lze opracovat do roviny a očistit od oxidu frézováním. Styčné plochy mají být očištěny až do matového lesku a po opracování a zbavení oxidu je lze mírně zdrsnit (vhodného zdrsnění se dosáhne např. ocelovým drátem).

Části svorek z hliníku nebo jeho slitin se čistí, podle tvaru a velikosti škrabkou, pilníkem nebo ocelovým kartáčem.

Očištěných ploch se již nelze dotýkat holou rukou (nebezpečí znečištění potem apod.) a styčné plochy je nutno přetřít suchým hadrem a potřít neutrální technickou vazelínou nebo kontaktní pastou.

Hliníkové sektorové vodiče je nutno při připojování do svorek obvyklých tvarů zformovat do kruhového tvaru, a to v celé délce uložené ve svorce. Je vhodné pak konec vodiče čepoval nebo užít kontaktní pastu.

Připojení hliníkových vodičů svorkováním

Vodiče musí být ve svorce sevřeny dostatečným tlakem, aby vznikl co nejmenší přechodový odpor styku, přičemž však nesmí na vodič působit nadměrný tlak, aby nenastalo takové tečení vodiče, že by je svorka svou pružností nemohla vyrovnávat. Proto je nutno svorkové šrouby dotahovat správným momentem (údaje jsou uvedeny dále); vždy se musí použít nástrojů (šroubováku, klíče) správného tvaru a velikosti. Doporučuje se, aby si montéři nacvičili dotahování svorkových šroubů správným momentem, neboť jinak je nebezpečí buď nevyhovujícího utažení vodiče, nebo překročení meze jeho pružnosti (v obou případech je spoj nevyhovující a je zdrojem poruch).

Po připojení se vodič smí zploštit max. o polovinu svého průměru; u lan to platí i pro jednotlivé drátky lana. Nejmenší zploštění je 10 %, je-li menší, spoj nebývá již spolehlivý.

Obvyklé druhy šroubových svorek se hodí pro vodiče kruhového průřezu; u hlavičkových a zdířkových svorek se doporučuje konec lana čepovat. Běžné svorky zpravidla dovolují připojení hliníkových vodičů největšího (jmenovitého) průřezu a dvou průřezů nejbližších (viz též pracovní rozsahy svorek v TNI 37 0606). Při připojování vodiče většího průřezu, než pro který je svorka určena a do které se vodič vejde, nemusí být zaručen dostatečný styčný tlak. Některé druhy svorek (např. soustředné svorky) a kabelových ok se hodí pouze pro hliníkové vodiče udaného průřezu.

Při šroubovém spojování hliníkových vodičů se jako ochranného prostředku doporučuje použít *kontaktní pasty* (kromě konzervačního účinku zmenšuje přechodové odpory a zvětšuje stálost spoje).

Tab. 1 Charakteristické hodnoty (proud, průřez vodiče, používaný závit, krouticí moment) pro zdířkové svorky

Proud [A]	Velikost svorky	Průřez připojeného tuhého vodiče [mm ²]			Krouticí moment [N.m]		Používaný závit
					I	III	
10	1	-	-	2,5	0,2	0,4	M2,6
16	2	1,5	2,5	4,0	0,25	0,5	M3
20	3	1,5	2,5	4,0	0,4	0,8	M3,5

25	4	2,5	4,0	6,0	0,4	0,8	M4
32	5	4,0	6,0	10,0	0,7	1,2	M4,5
40	6	6,0	10,0	16,0	0,8	2,0	M5
63	7	10,0	16,0	25,0	1,2	2,5	M6

Krouticí moment ve sloupci I platí pro šrouby bez hlav, pokud šroub po utažení nevyčnívá z otvoru, a pro jiné šrouby, které nemohou být utahovány pomocí šroubováku s břítem širším, než je průměr šroubu.

Krouticí moment ve sloupci III platí pro jiné šrouby upínacích jednotek, které se utahují pomocí šroubováku.

Kontrola spojů

Doporučuje se občas kontrolovat stav spojů hliníkových vodičů, aby se včas předešlo poruchám a případným škodám.

Po provedené montáži je nutná taková kontrola po určité době provozu (asi za 4 týdny), neboť spoj hliníkových vodičů zpočátku zpravidla povolí následkem určité deformace vodičů (způsobené tečením hliníku). Tato kontrola se má provést všude tam, kde je to prakticky možné, a při ní se dotáhnou znovu všechny svorkové šrouby, aby se vyrovnalo případné sesednutí vodiče a povolení spojů. Kde kontrola není možná, je nutné montáž spoje provést takovým způsobem, aby se zabránilo další deformaci hliníkového vodiče nebo použít svorky do náročných poměrů (označené AI 1).

U šroubových spojů hliníkových pásů se provádí první kontrola asi po 8 dnech, pak asi po 6 týdnech po uvedení do chodu a další kontroly vždy asi po 6 měsících. Při každé kontrole je zapotřebí šrouby dotáhnout.

Ověřování svorek pro připojení hliníkových vodičů

Vzhledem k tomu, že v elektrických zařízeních a instalacích se i nadále v řadě případů stále ještě používá hliníkových vodičů, jsou výrobci povinni u všech příslušných výrobků ověřit zkouškami vhodnost připojovacích svorek i ostatní spojovací materiál. Tyto zkoušky se provedou metodou umělého stárnutí spoje podle TNI 37 0606 s měřením úbytků napětí během zkoušky I po ní.

Ochrana zamezením přístupu vlhkosti ke spoji

Hliníkové vodiče a díly z hliníku a jeho slitin smějí být ve styku s díly (součásti svorek, vodiče) z ušlechtlejšího kovu, jen je-li zabráněno přístupu vlhkosti k místu styku:

- potřením místa styku dostatečnou vrstvou neutrálního tuku (bez kyselin),
- izolováním ploch (hran) přicházejících do styku s prostředím, a to izolačními vložkami, dělicími vrstvami nebo nátěry (olejovým, nitrocelulózovým, chlórkaučukovým lakem apod.). Nátěry nutno občas obnovovat;
- zalitím spoje zalévací látkou (kabelové koncovky, spojky, svorkovnice),
- svařením Matulo,
- uložení spoje do oleje,
- těsným uzavřením spoje,
- umístěním částí z kovů s rozdílným potenciálem daleko od sebe,
- vložením kovového dílu mezi díly z materiálu s navzájem nebezpečným potenciálem, jehož potenciál leží uprostřed a je k hliníku přípustný (např. pozinkovaný ocelový díl). Nastane však zvětšení přechodových odporů;
- použitím vložek z cupalu.

Použití cupalových vložek

Cupalový plech je z čistého hliníku, na němž je mechanicky naplátována vrstva z elektrolytické mědi (po jedné nebo po obou stranách). Na přechodové díly (vložky, podložky, trubičky apod.) se používá jednostranně plátovaný cupalový plech. Při použití se části z cupalového plechu musí umístit tak, aby hliníková vrstva byla ve styku s hliníkovým vodičem nebo hliníkovou částí svorky a měděná vrstva s měděným vodičem nebo částí svorky z mědi (slitin mědi). Části svorek z oceli (zinkované, kadmiované) mohou být ve styku s oběma st nebo plátina, ani nástrojů znečištěných jinými kovy, zvláště mědí nebo mosazí) ihned natřít jemnou

vrstvou kontaktní pasty nebo neutrální technické vazelíny. Nátěry reagujícími na teplotu se mohou natírat jen hlavy šroubů. Šrouby se dotáhnou za 8 dní po uvedení do provozu, pak za 6 týdnů a potom se kontrolují každého půl roku.

Literatura

ČSN 33 0220:1981 Elektrotechnické předpisy ČSN. Používání mědi a hliníku v elektrotechnice
TNI 37 0606:2007 Mechanické spojování hliníkových vodičů a hliníkových vodičů s měděnými vodiči
Roškota S. a kol.: Výběr technických norem pro elektrotechniky, SNTL, Praha 1979

Vydáno: 05.04.2009