**Na ohyb a zlom – extrémní namáhání kabelů v robotice**

Autor: Jacques Besio,vedoucí výroby u společnosti Lapp Muller

*Zdvíhají, skládají, stohují, řežou, frézují, svařují, lakují, brousí nebo montují – robotické systémy jsou dnes používány téměř ve všech průmyslových odvětvích. V závislosti na činnosti pak mohou být i skutečnými maratónskými běžci, protože musí vydržet až deset milionů rotací a změn ohybu. A milionkrát s nimi musí vydržet tyto pohyby i komponenty jako jsou kabely a spojovací prvky, a to s torzí až 1.000°/m a extrémními úhly ohybu až do 7,5násobku vlastního vnějšího průměru. Pokud kabel selže, může se zastavit celá výrobní linka a mohou vzniknout milionové škody. Proto není žádný div, že výrobci robotických systémů kladou maximální důraz na to, aby byl každý použitý komponent a každý kabel koncipován pro individuální použití a v maximálním rozsahu testován pro trvalé využití.*

Existují nespočetné oblasti použití a tomu odpovídající velké množství typů a variant robotických systémů, které jsou dnes v průmyslu používány. Proto se téměř u každého zákazníka liší i požadavky na jednotlivé komponenty, jako jsou například kabelové systémy. Z tohoto důvodu spolupracují společnosti vyrábějící roboty přednostně s výrobci, kteří jsou schopni nabídnout vedle rozsáhlého sortimentu standardních produktů i vývoj a výrobu individuálních speciálních kabelů. K tomu je potřebná nejenom technická kompetence v oblasti výroby, ale i rozsáhlé zkušenosti umožňující kvalifikované poradenství. Společnost Lapp Muller, specialista skupiny Lapp na robotiku, se tímto tématem intenzivně zabývá již více než 15 let. Společnost založená v roce 1939 v Paříži patří od roku 2003 do skupiny Lapp a disponuje v současnosti vysoce moderní výrobou s výrobní plochou 5 000 metrů čtverečních v Grimaud na Azurovém pobřeží. Vedle kabelů pro robotické systémy vyrábí podnik i speciální kabely pro oblast offshore a podmořské aplikace, například podmořské kontrolní kabely pro hloubky do 7 000 metrů.

K zákazníkům skupiny Lapp v oblasti robotiky patří podniky jako Comau Robotics a Hyundai, vyrábějící roboty pro automobilky, Imeca, vyrábějící roboty pro firmu Michelin, Cimlec, dodavatel francouzských automobilek jako je Peugot-Citroen a Renault, Samsung, v oblasti zpracování

polovodičů se svářecími roboty a energetickými řetězy, Nelson Bolzenschweiß-Technik a Dürr, systémoví partneři automobilek a dodavatelského průmyslu, i mnoho dalších.

**Vysoké nároky na flexibilitu a dlouhou životnost**

Z důvodu extrémních rotačních pohybů a střídání ohybu na robotických systémech musí být použité kabely vysoce flexibilní, disponovat velmi malým poloměrem ohybu a vydržet vysoké namáhání krutem. K tomu pak přistupují i vysoké požadavky na kvalitu a životnost komponent, které musí být schopné vykonat miliony takovýchto pohybů, aniž by přitom došlo k jejich poškození.

Dalším problémem jsou omezené prostory pro vedení kabelů: nejrůznější kabely musí být uloženy v minimálním prostoru uvnitř robota, v některých případech jsou vedeny po vnější straně jednotlivých os. Z tohoto důvodu jsou v robotice často používány hybridní kabely, které v jednom vnějším plášti sdružují více vedení. Zde se pak například potkávají vysokonapěťové kabely zajišťující efektivní napájení s datovými kabely. Vysoké jsou tak i požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) a koncepci odpovídajícího stínění všech komponentů. Výzvou přitom je, aby hybridní kabely – i přes přítomnost různých svazků kabelů a stínicích a výplňových materiálů – měly vysokou flexibilitu a stabilitu vůči trvalému namáhání krutem a střídavým ohybem. Z tohoto příkladu je patrné, jak je důležité znát při konstrukci kabelů různé dostupné možnosti a jejich výhody a nevýhody pro danou oblast použití a mít prakticky vyzkoušené s ní spojené namáhání tak, aby bylo možné zvolit optimální materiálovou skladbu.

**O výběru materiálů rozhoduje oblast použití**

Pro stínění jsou při výrobě kabelů používány obecně dvě techniky: měděný stínicí oplet nebo obložení. U měděného stínicího opletu jsou měděné drátky spleteny do „hadice“ s malými oky, která obklopuje kabel. Touto metodou jsou dosahovány zvlášť vysoké hodnoty stínění proti elektromagnetickému záření a oplet je tedy používán u mnoha hybridních kabelů. Při použití v robotice však vzniká problém. Při provádění pohybů robotického systému jsou kabely vystaveny extrémním střídavým ohybům a vysokému zkrutu. Vrstvy měděného opletu se při silném

kroucení posouvají dovnitř a ven. Přitom dochází nejenom k poškození opletu jako takového, ale poškozeny mohou být i další komponenty kabelu. Při torzi 360° na metr často klesá již po 100 000 cyklech účinnost stínicího opletu, protože dochází ke zlámání drátků a vzniku malých otvorů v měděném opletu, takže záření již není tak dobře odstíněno. Při střídavém ohybu s poloměrem, který odpovídá desetinásobku vnějšího průměru kabelu, vzniká tentýž problém až po dvou či třech milionech cyklů.

Proto se u kabelů pro robotiku často používá obložení, jako alternativní metoda stínění. Obložení je tvořeno spirálovým návinem měděného drátu nebo fólie pouze v jednom směru. Protože je opotřebení velmi malé, je tato metoda zvláště vhodná pro dynamické aplikace. Díky stejnému směru se vrstvy mědi neotírají o sebe a tím je zajištěna vysoká účinnost stínění po celou životnost kabelu. Při pohybu se střídavým ohybem s poloměrem odpovídajícím desetinásobku vnějšího průměru kabelu je stínění schopno vydržet bez poškození více než deset milionů cyklů. Podobné životnosti je možné dosáhnout i při krutu 360° na metr.

Nevýhodou oproti opletu je skutečnost, že při určitém zkroucení nebo ohybu mohou vznikat ve stínění dočasné mezery. Hodnoty stínění – a tedy i elektromagnetické kompatibility (EMC) – jsou tedy při ideálním stavu obou druhů stínění vyšší u opletu. Pro výběr materiálu je tedy rozhodující oblast použití kabelu. Pokud je požadováno maximální stínění a je možné akceptovat kratší životnost, padá volba na oplet z měděných drátků. Pokud je rozhodující dlouhá doba použitelnosti kabelu bez jeho poškození, nabízí se použití obložení.

**Zákazníci z oboru robotiky jen vzácně kupují hotová řešení**

Ve většině případů přicházejí zákazníci k firmě Lapp Muller s přesně definovanými požadavky na kabelový systém, který chtějí použít ve svém robotickém systému. Pokud nemohou být tato kritéria splněna produktem ze standardního sortimentu, vytvoří Lapp pro zákazníka tým a vyvine pro něj individuální řešení.

Produkty, které jsou používány v robotice, jsou například napájecí kabely, hybridní kabely kulaté nebo ploché, spirálové kabely a speciální kabely pro roboty.

Příkladem z rozsáhlého standardního sortimentu firmy Lapp Muller je kabel Robocable® F1, který je používán především v automobilovém průmyslu. Vysoce flexibilní kabel pro roboty má vnější plášť z PUR, je odolný vůči řadě olejů, oděru a UV záření. K tomu přistupuje polyesterová izolační vrstva, která byla vyvinuta speciálně pro vysoká zatížení kabelu. Jednotlivé svazky kabelů uvnitř hybridního kabelu jsou proti záření stíněny měděným obložením a celý kabel je pak vybaven doplňkovým stíněním měděným opletem. Poloměr dynamického ohybu odpovídá desetinásobku vnějšího průměru, torzní odolnost ± 180° na metr. Kabel vydrží při tomto zatížení bez poškození až deset milionů cyklů.

Na základě zvláštního požadavku vyvinula společnost Lapp Muller společně se zákazníkem z oboru robotiky variantu Robocable® F1 Gold, která se používá především u robotů s pohybem ve více osách, určených například pro svařování komponent automobilové karoserie. Další vývoj kabelu F1 je zaměřen na vysoký výkon při ještě větším mechanickém namáhání. Zejména kombinace střídavého ohybu a zkrutu při komplexních pohybech robota vedla u původních kabelů často k rozlámání a poškození stínicí vrstvy, chránící datové kabely před elektromagnetickým zářením. U kabelu Robocable® F1 Gold je proto provedeno veškeré stínění formou měděného obložení. Poloměr dynamického ohybu tak bylo možno snížit na 7,5násobek vnějšího průměru kabelu, torzní odolnost se naopak zvýšila na ± 360° na metr. Taktéž kabel F1 Gold je testován na deset milionů cyklů. Další speciální varianta kabelu Robocable® F1 Gold je díky svému stínění ze speciální slitiny zvlášť pevná v tahu: vydrží až 300 N/mm2 (ve srovnání s hodnotou 20 N/mm2, které dosahují jiné kabely). Díky dlouholetým zkušenostem specialisté firmy Lapp Muller ví, které „stavěcí šrouby“ je nutno při zvláštním požadavku seřídit – ať už se to týká skladby kabelu, materiálového složení, výplňových prvků a materiálů nebo pomocných prvků.

**Sprint na krátkou vzdálenost**

Zvláštní výzvou ve výrobě kabelů pro roboty je jejich malá délka podle požadavků zákazníka. Protože je speciální kabel často použitelný pouze pro určitou aplikaci, jsou poptávána a odebírána menší množství než

u jiných druhů kabelů, u kterých je minimální odběr často i několik kilometrů.

Mnozí výrobci se výroby kabelů pro roboty bojí, protože s ohledem na náklady na další vývoj a proporcionálně vyšší materiálové ztráty je tento obchod pro řadu z nich ztrátový. Současně je u řady poptávek zákazníků zahrnuta pouze velice krátká doba na výrobu, kterou jsou schopni dodržet pouze specialisté. Společnost Lapp Muller, která je zaměřena na výrobu malých dávek, je schopna vyvinout a vyrobit specifický kabel i při délce 100 metrů do osmi týdnů. Kromě toho firma disponuje různými stroji pro oplet drátem s 18 až 48 vřeteny. Extrudéry jsou schopny zpracovávat jakýkoli termoplastický materiál, jako je FEP, TPU nebo TPE, a rovněž termosety, jako je XLPE. Vyráběny jsou kabely s průměrem od 0,8 do 120 milimetrů. Požadavky na kabely pro roboty podléhají – stejně jako robotické systémy – stálé evoluci, takže specialisté jako firma Lapp Muller musí společně se svými zákazníky permanentně vyvíjet nové kabelové systémy.

**Mučírna – zařízení pro testování kabelů – na ohyb a zlom**

Aby bylo možné zjistit, jak reagují standardní produkty nebo nově vyvinuté kabely na trvalé zatížení při určitých pohybech a jak jsou schopny je bez poškození snášet, přichází na řadu nezbytné provádění testů za podmínek blízkých praxi. Žádné oficiální průmyslové standardy pro zkoušky vysoce výkonných kabelů však neexistují. Odolností vůči střídavému ohybu se zabývají pouze některé normy IEC, například 60245-2 pro kabely s gumovým pláštěm nebo 60227-6 pro kabely s pláštěm

z PVC. Pro dynamické použití a trvalé zatížení v robotice jsou však požadavky stanovené těmito normami – například „bez přerušení kabelu po 10 000 cyklech“ – velice nízké. Skupina Lapp proto koncipuje své zkoušky podle nejpřísnějších požadavků svých zákazníků z oblasti výroby robotů, kteří představují ve vztahu k výrobě kabelů takzvanou královskou třídu. Podnik disponuje nejmodernějšími zařízeními pro zkoušení kabelů na světě, jejichž prostřednictvím je možno simulovat nejrůznější cykly pohybů.

Zařízení pro zkoušení kabelů pro energetické řetězy testuje flexibilitu a životnost kabelů při trvalém namáhání střídavým ohybem s variabilně nastavitelným poloměrem. Zařízení pro zkoušení namáhání zkrutem simulují rotační pohyby a je na nich možno nastavit maximální úhel natočení ± 720°. Jedinečné kombinované zkušební zařízení je kromě toho schopno reprodukovat pohyby vyskytující se na robotech za reálného provozu, a to kombinováním rotačních pohybů a střídavého ohybu.

Testy simulující dva miliony pohybových cyklů při rychlosti blízké praxi mohou trvat i měsíce. Alternativně je možné mechanické zkoušky urychlit zpřísněním zkušebních parametrů – například poloměru ohybu. Pouze tehdy, pokud kabel přečká bez poškození tuto „mučírnu“, je vhodný pro použití v robotice. Důležitými obory z hlediska nasazení robotů jsou automobilový průmysl, elektronický průmysl, zpracování kovů, průmysl plastů a chemický průmysl. To rovněž vysvětluje, proč je rozhodující, aby všechny komponenty těchto systémů plnily ty nejpřísnější požadavky na kvalitu a životnost a aby byly tyto jejich vlastnosti doloženy zkouškami za podmínek blízkých praxi. Protože v průmyslové výrobě může i krátká časová ztráta při výpadku rozhodujícího komponentu robotického systému a následné zastavení výrobní linky představovat milionové škody.