

ÚDRŽBA

MAINTENANCE - INSTANDHALTUNG
VYDÁVA SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY

Ročník XVII

ISSN 1336 - 2763

Číslo 3/september 2017

AKÉ BOLO NÁRODNÉ FÓRUM ÚDRŽBY 2017?

JURAJ GREŇČÍK

Vážení priatelia a priaznivci údržby,

prinášame Vám krátke obzretie sa za sedemnástym ročníkom medzinárodnej konferencie **Národné fórum údržby 2017**, ktorá sa konala v dňoch 30. - 31. mája 2017, tradične v hoteli Patria na Štrbskom Plese.

Konferencia je podujatím, na ktorom sa od roku 2000 pravidelne stretávajú manažéri a špecialisti údržby, zástupcovia popredných firiem ponúkajúcich služby v údržbe, predstavitelia významných spoločností zo širokého spektra odvetví, ako aj odborníci z akademickej pôdy.

Záujem o konferenciu opäť potvrdil vysoký počet domácich a zahraničných účastníkov. Podľa zoznamu bolo na 17. ročníku **228 účastníkov**, z toho **187 domácich** a **41 zahraničných** - tradične najviac z **Českej republiky - 31**, z **Rakúska 4**, z **Nemecka 3** a z **Poľska, Ukrajiny a USA po 1**.

Prehľad vývoja počtu účastníkov za všetky uskutočnené konferencie od roku 2000 do 2017 dokumentuje graf č. 1 - strana 3.

Vzhľadom na širokospektrálnosť konferencie je aj skladba účastníkov veľmi pestrá. Prevažuje „Servis“, pod ktorým sú zahrnutí zástupcovia firiem ponúkajúcich svoje služby a produkty pre údržbu. Z hospodárstva sa posilnilo zastúpenie strojárskemu priemyslu, ktoré počtom predbehlo zástupcov energetiky (predovšetkým elektrární), a to bola oblasť automotive sledovaná ako samostatná kategória. Dokazuje to, že tento nosný segment slovenského priemyslu nezabúda ani na údržbu.

Zastúpenie jednotlivých odvetví, vrátane zo zahraničia, v roku 2017 zobrazuje graf č. 2 - strana 2.

Hodnotenie konferencie

V účastníckej ankete bolo odovzdaných 84 odpovedí, čo je 37 % z prihlásených účastníkov. Účastníci známku od 1 do 5 hodnotia organizačnú a odbornú úroveň konferencie a navyše sa môžu vyjadriť k ďalším šiestim otázkam. Tieto otázky zostávajú od začiatku nezmenené a tak je možné sledovať vývoj hodnotenia od prvého ročníka. Napokon môžu uviesť 3 prednášky, ktoré ich najviac zaujali. Hodnotenie opäť potvrdilo, že výsledné známky za celé sledované obdobie zostávajú stabilné. V tomto roku došlo k zlepšeniu vo všetkých kritériách voči minulému roku. Tradične je najvyššia spokojnosť s miestom konania konferencie, ale aj s organizačným zabezpečením a termínom konferencie. O niečo kritickejšie sú hodnotené odborná úroveň príspevkov a výber tém konferencie, ale známka za celkovú úroveň 1,36 je potešujúca. V zásade možno opäť skon-

štatovať, že hodnotenia zostávajú trvalo vysoko pozitívne. Kritické názory a pripomienky prispievajú k hľadaniu zlepšení do budúcich ročníkov.

Ktoré bloky ste sledovali:

	áno	sčasti	nie
Najlepšia prax a riadenie údržby	80%	16%	4%
Informačné technológie v údržbe	52%	42%	6%
Bezpečnosť v údržbe	42%	43%	15%
Progresívne technológie údržby a technická diagnostika	69%	29%	2%

Ako hodnotíte:

(stupnica: 1 = najlepší až 5 = najhorší)

Celkovú úroveň konferencie	1,36±0,51
Odbornú úroveň príspevkov	1,68±0,65
Miesto konania konferencie	1,09±0,32
Organizačné zabezpečenie	1,17±0,37
Výber tém konferencie	1,76±0,72
Termín konania konferencie	1,25±0,62

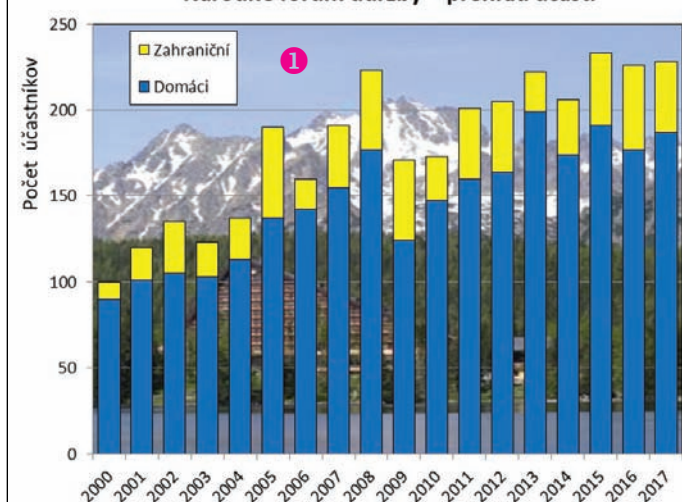
Prednášky

Program konferencie pokračoval v zaužívanom modeli jeden a poldňovej konferencie, doplnenej špecializovanými seminármi popoludní na druhý deň konferencie. V programe bolo zaradených 32 prednášok, podobne ako v minulom roku, aby bol väčší priestor na prednášky a následnú diskusiu.

Výrazné miesto v programe mali prezentácie riešení a produktov partnerov konferencie a aj zaradenie prednášok v úvodnej časti zodpovedalo generálnemu a hlavným partnerom konferencie. Medzi ne boli zaradených niekoľko tém k trendom v oblasti Industry - Maintenance 4.0, a pozornosť venovaná aj otázkam bezpečnosti a údržbe založenej na uvažovaní rizík. Spostením programu boli aj vonkajšie prezentácie systému opráv potrubí firmy PLIDCO z USA, čistenie suchým ľadom firmy Messer Tatragas a diaľkovo riadených kosačiek SPIDER. Na druhý deň konferencie boli, tak ako je zaužívané, prednášky z oblasti technickej diagnostiky a prediktívnej údržby ako aj progresívnych technológií údržby.



Národné fórum údržby - prehľad účasti



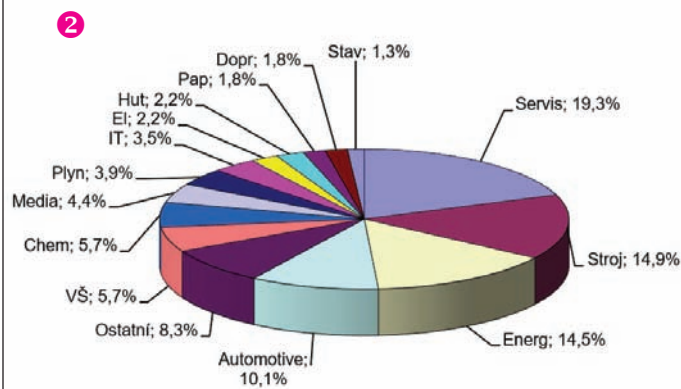
Účastníci už po ôsmy raz hodnotili aj **tri prednášky, ktoré sa im najviac páčili**. Z hodnotenia vyplynulo, že len 4 prednášky neboli uvedené ani raz, čo znamená, že takmer všetky prezentácie zaujali do takej miery, že sa dostali medzi 3 najzaujímavejšie. Kľúč na určovanie poradia zostáva rovnaký: prednáška uvedená na prvom mieste získava 3 body, na druhom 2 a na treťom 1. Súčet bodov je prvým kritériom určenia poradia, druhým je počet hodnotení a tretím priemer zo známok. Názvy prvých 15 prednášok sú uvedené v tabuľke.

Ocenenia

SSU na konferencii udeľuje ceny ako uznanie za prínos k rozvoju údržby. Od roku 2003 je to **Cena SSU „Údržbár roka“**. V tomto roku ju získala za svoj významný prínos k údržbe, zvlášť v oblasti technickej diagnostiky **doc. Ing. Viera Petková, PhD.**, vedúca diagnostiky v spoločnosti eustream, a.s. a prezidentka Asociácie technických diagnostikov SR.

Po štrnásty raz bola udelená **Cena SSU za diplomovú prácu**. V tomto roku ju dostal **Ing. Martin Štancel**, absolvent FEI TU v Košiciach, za prácu na tému: „Softvér pre výkonnostný audit údržby“, pod vedením Ing. Štefana Korečka, PhD. a prof. Ing. Hany Pačiaoovej, PhD. Konferencia svojou vysokou účasťou opäť potvrdila, že je popredným odborným podujatím ľudí spojených s údržbárov na Slovensku. Želáme si, aby to tak zostalo aj v nasledovnom roku.

Národné fórum údržby 2017 - skladba účastníkov



Už teraz pozývame na osemnásty ročník konferencie

Národné fórum údržby 2018

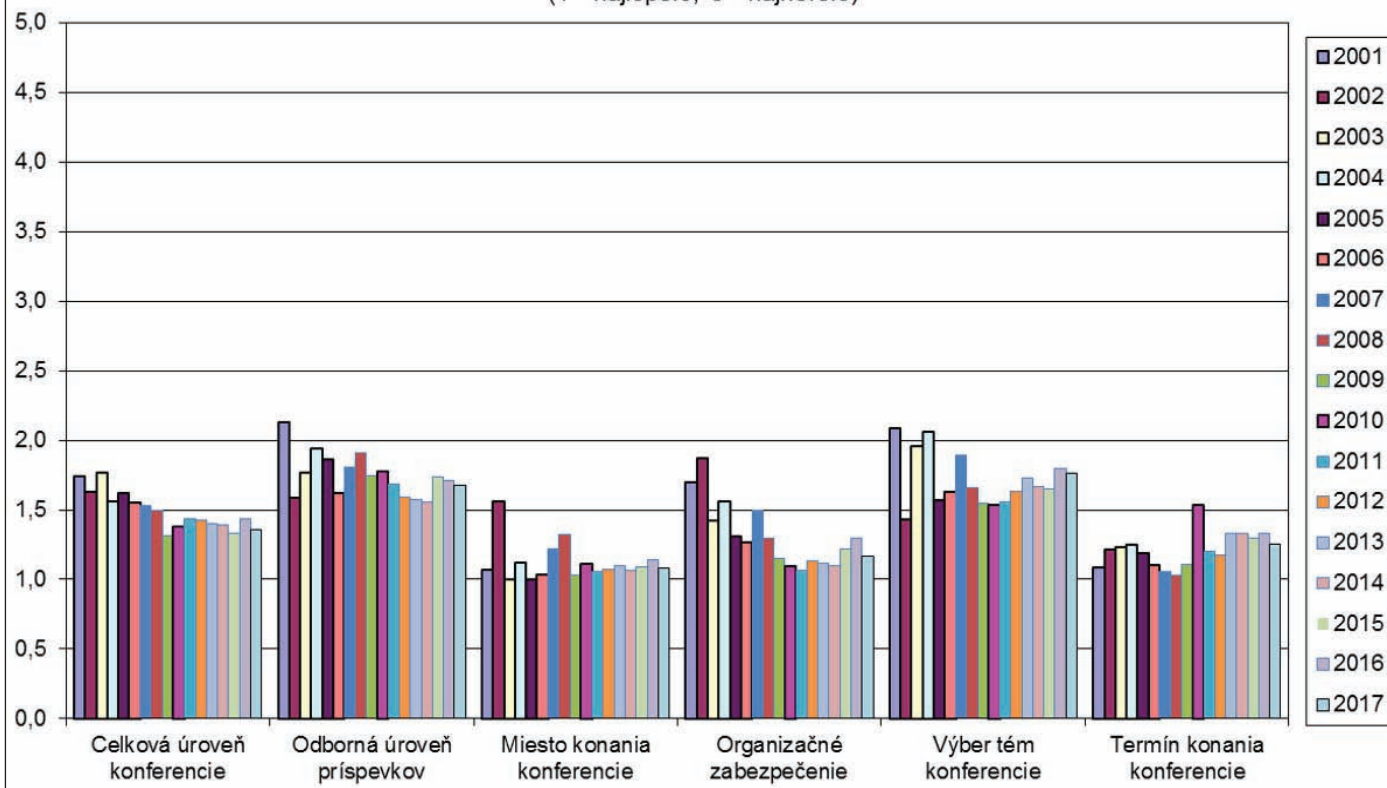
v dňoch 29. – 30. mája 2018,

opäť na Štrbskom Plese v hoteli Patria.



P.č.	Meno	Organizácia	Prednáška	Suma	Počet	Priemer
1	Juraj Petrovič	Messer Tatragas, spol. s r.o.	Čistenie suchým ľadom v priemysle	53	28	1,89
2	Rastislav Milan	U.S.Steel Košice, s.r.o.	Očakávania výrobcu ocele od Industry 4.0	46	19	2,42
3	Juraj Bezděk	sféra, a.s.	Inovatívne využitie umelej inteligencie v procese údržby	40	22	1,82
4	Vladimír Oravčík	SKF Slovensko, spol. s r.o.	SKF a predpoklady smerovania údržby v blízkej budúcnosti	38	19	2,00
5	Roman Lakošík	RZ SDV	Duálne vzdelávanie pracovníkov údržby	35	16	2,19
6	Hana Pačiaoiová	TU v Košiciach, SJE, KBKP	Uvažovanie založené na rizikách (RBT) v riadení údržby	33	15	2,20
7	Jan Burian, Michal Brijar	Ernst & Young, s.r.o.	Priemysel 4.0 – riešenia existujú, chýba stratégia	26	10	2,60
8	Miroslav Šandor	Inseko, a.s. Žilina	Ako v údržbe ušetriť až 20% nákladov na náhradné diely	20	11	1,82
9	Milan Haluška	U.S.Steel Košice, s.r.o.	Triboservis v podmienkach USSKe	20	11	1,82
10	Petr Kolečkář	SPECTRO CS, s.r.o.	Analýza oterových kovov a aditív v tribotechnike použitím spektrálnych metód	19	10	1,90
11	Daniel Spálenka	IGS Europe s.r.o.	State-of-the-art ochrana proti korózii alebo erózii ako spôsob predĺženia životnosti a zníženia prevádzkových nákladov kritických celkov v Českej a Slovenskej energetike	17	7	2,43
12	Viera Petková, Lukáš Zelenaj	eustream, a.s. Bratislava	Vibrácie ako riziko bezpečných potrubí	15	7	2,14
13	Juraj Ďurický	SEPS, a.s. Bratislava	Rýchle a bezpečné odstránenie únikov a netesností na potrubných systémoch	15	6	2,50
14	Peter Tirinda	B & K, s.r.o., Bratislava	Vybrané metódy a prostriedky technickej diagnostiky určené pre podporu výroby a údržby	13	8	1,63
15	Adam Bojko	Adash, s.r.o., Ostrava	Nové moderné diagnostické prístroje	12	6	2,00

Vývoj hodnotenia konferencií za obdobie 2001- 2017 (1 - najlepšie, 5 - najhoršie)



PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA JAMKOVEJ KORÓZIE NA VÝHREVNÝCH PLOCHÁCH CHRÁNENÝCH NÁVARMI V SPAĽOVNIACH ODPADU

DANIEL SPÁLENKA

Existujúcim štandardom protikorózneho ochrany pre spaľovne odpadu je technológia dielenskej aplikácie ochranných návarov (shop applied welded overlay - SWOL) buď z materiálu Inconel 622 alebo Inconel 625, ktoré môžu predĺžiť životnosť uvedenej tlakovej časti.

Hoci aplikácia ochranných náterov môže výrazne predĺžiť životnosť vybraných častí energetických jednotiek v porovnaní s uhlíkovou ocelou bez akejkoľvek korózie, neexistuje v súčasnosti žiadna overená metóda predĺženia životnosti návarov po dosiahnutí konca životnosti a tak dochádza k výpadkom, spôsobeným poškodením ako je jamková korózia, trhliny, prípadne spolupôsobenie erózie. Jediným nákladovo efektívnym riešením bolo vymeniť celú tlakovú časť novou uhlíkovou ocelou, opäť chránenú aplikáciou ochranných návarov, čo vedie k významným nákladom a dlhým odstávkam, a má tak zásadný vplyv na ziskovosť danej jednotky.

Táto prípadová štúdia ukazuje alternatívne riešenia na prípade spoločnosti AEB Amsterdam, ako prevádzkovatelia spaľovni odpadu môžu predĺžiť životnosť svojich zariadení iba tým, že ochránia návar vysoko korózne a erózne odolnými zliatinami NiCr použitím aplikácieho systému vysokorychlostného nástreku firmy IGS, čím sa predlžuje životnosť tlakových častí aj frekvencia odstávok, a zároveň sa znižujú náklady na údržbu a priebežná doba samotných odstávok.)

Inconel 622. Vďaka svojmu obsahu chrómu, molybdénu a volfrámu a riadeného železa táto zliatina vykazuje vynikajúcu odolnosť voči oxidáčnym aj redukovaným kyslým podmienkam,

rovnako ako tým, ktoré obsahujú zmiešané kyseliny. Je obzvlášť vhodný pre odolnosť voči korózii a štrbinovej korózii v prostredí s kyslým halidom (pozri pozn). Aplikácie zahŕňajú chemické spracovanie, kontrolu znečistenia, odsírenie dymových plynov, spaľovanie odpadu a spracovanie celulózy a papiera.

pozn:

Halidy sú chemické zlúčeniny, ktoré vo svojej molekule obsahujú niektorý z halogénov, teda prvok fluór, chlór, bróm a jód. Zásadne sa delia na dve základné skupiny:

1. Organické halidy čiže halogénové deriváty, ktoré sú derivátmi uhľovodíkov, vzniknuté substitúciou aspoň jedného atómu vodíka daného uhľovodíka halogénom.
2. Anorganické halidy čiže halogenidy, teda iónové zlúčeniny niektorého kovového alebo polokovového prvku s aniónom tvoreným jedným z halogénov, teda v zásade fluoridy, chloridy, bromidy a jodidy.”)

Inconel 625. Zliatina nikel-chróm-molybdén, s pridaním nióbu, ktorý pôsobí spoločne s molybdenom tak, že spevní maticu zliatiny a tým poskytne vysokú pevnosť bez nutnosti jej zosilnenia technologickým postupom tepelného spracovania. Táto zliatina odoláva širokému spektru veľmi korozívnych prostredí a je zvlášť odolná voči korózii a štrbinovej korózii. Používa sa v chemickom spracovateľskom priemysle, v leteckom priemysle a v strojárstve, v zariadeniach na kontrolu znečistenia a v jadrových reaktoroch.

VYSOKOTEPLTNÁ KORÓZIA SPAĽOVNÁ KORÓZIA

V podstate všetky zlúčeniny chlóru v spaľovacej atmosfére spaľovni odpadu sa menia na chlorovodík. Množstvo kyseliny chlorovodí-

kovej (HCl) v spalinách odpadov sa pohybuje v rozmedzí od asi 400 do 1.500 ppm, a to podľa zásady, že každý 0,1% chlóru (Cl) v odpade vytvára približne 80 ppm *) chlorovodíka. Priama chloridácia ocelí na chlorid železa sa nepovažuje za významný faktor. V skutočnosti termodynamická analýza predpovedá, že je nepravdepodobné, aby táto reakcia prebiehala v spaľovacej atmosfére spaľovni odpadu. Experimenty so zliatinami na báze železa a báze niklu v syntetickej spaľovacej atmosfére ukázali prudký nárast útoku s progresívnym množstvom kyseliny chlorovodíkovej až k 10%. Avšak skutočná rýchlosť korózie bola zanedbateľná pri nízkych koncentráciách HCl, ktoré sa zvyčajne vyskytujú u kotlov na spaľovanie odpadu.

Možno teda dospieť k záveru, že priama chloridácia plynnou fázou je pri spaľovaní v spaľovniach nepatrná, s výnimkou prípadných lokalizovaných silno redukčných podmienok alebo výnimočne vysokých teplôt. Je zaujímavé poznamenať, že HCl môže v skutočnosti pôsobiť spomaľovanie korózie v niektorých redukčno sulfidujúcich zmesiach plynov. Pri laboratórnych skúškach, ktoré simulovali podstoichiometrické spaliny elektrárenských kotlov obsahujúce 500 ppm H₂S, sa zistilo, že prídanie 350 ppm HCl významne znižuje koróziu uhlíkových a nízkolegovaných ocelí 41 (pozn). Podobné pozorovania boli vykonané so simulovanými procesmi splyňovania uhlia obsahujúce 1% H₂S, kde prídavok 600 ppm HCl prudko znížil rýchlosť korózie nízkolegovanej ocele 68.

Spomaľovací účinok bol pripisovaný chlóru v sulfidovej škále, ktorý pôsobil na spomalenie difúzie železa pre vznik sulfidu.

- pokračovanie na strane 4

pozn.

Legovaná oceľ je oceľ, ktorá je legovaná rôznymi prvkami v celkovom množstve medzi 1,0% a 50% hmotnosti, aby sa zlepšili jej mechanické vlastnosti. Napr. podľa SAE legovaná oceľ triedy 41xx obsahuje: Cr 0,50% or 0,80% or 0,95%, Mo 0,12% or 0,20% or 0,25% or 0,30%.



Obr. 1 Korózia spôsobená chlóróm

KORÓZIA SPÔSOBOVANÁ USADENINAMI

Korózia v kotloch spaľovni odpadu prebieha primárne pod nánosmi zloženými z korozívnych solí, zvyčajne zmiešaných s veľkou frakciou popolčiek. V dolnej časti spaľovacej komory, kde sú bežné miestne redukčné podmienky, sú usadeniny charakteristicky bohaté na chloridy. Vo vyšších úrovniach a v konvekčnom ťahu obsahujú usadeniny postupne väčšie množstvo sulfátov, ktoré sú stabilnejšie ako chloridy za oxidačných podmienok. V dôsledku toho sa značná časť chloridových produktov korózie premení na sulfáty. Postupy ukladania usadenín sú rôzne, ale všeobecne zahŕňajú kondenzáciu pár, fyzické ukladanie polietavého popolčeka a reakciu plyných komponentov s predtým vytvorenými usadeninami. Súdržnosť týchto usadenín môže byť podporovaná fúziou alebo spekaním (pozn 1) roztavených alebo polotuhých alkalických kovov, kovov alkalických zemín, sulfátov, chloridov, fosfátov a ťažkých kovov. Korózia vplyvom skondenzovaných komponentov je obzvlášť nebezpečná, keď sa jedná o eutektikum (pozn 2) roztavených solí. Reakčné postupy a mechanizmy, vysvetľujúce útoky "suchých" usadenín, budú ďalej skúmané v odseku o korózných mechanizmoch.

Pozn 1.

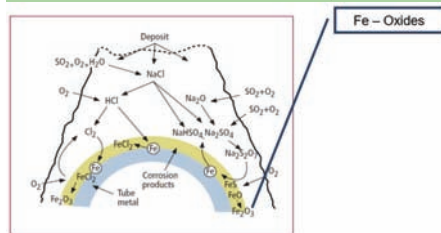
Spekanie je metóda výroby predmetov z práškových hmôt ich zahriatím na vysokú teplotu, avšak pod ich teplotu topenia, pričom dochádza k vzájomnému splynutiu práškových častíc.

Pozn 2.

Eutektikum je tuhá zmes dvoch látok, ktorých kryštály sa vytvárali pri tuhnutí spoločne. Čisté eutektikum vzniká v takom miešacom pomere oboch zložiek, pri ktorom je teplota tuhnutia zmesi najnižšie.



Obr. 2 Rez rúrkou tlakového systému



Obr. 3 Mechanizmus korózie spôsobený usadeninami



Obr. 4 Korózia na návaroch WOL



Obr. 5 Jamkovanie na tlakovej časti

NÁVARY (WELDED OVERLAY - WOL)

Prekrytie návarom znamená nanosenie rezistentného kovu na základný kov (substrát), dodávajúci požadované vlastnosti povrchu, neobsiahnuté v materiáli základného kovu. Tu nastáva pevná a neoddeliteľná metalurgická

väzba medzi substrátom a navareným materiálom. Navarená zvarová vrstva je teda relatívne hrubá vrstva plniva, ktorá je aplikovaná na uhlíkový alebo nízkolegovaný základný kov, s cieľom poskytnúť povrch odolný proti korózii a zvyčajne znamená vrstvu viac ako dva mm zvarového kovu. Typickým javom procesu návaru je vytvorenie veľkého vnútorného pnutia, čo je jeden z obmedzujúcich faktorov pre tento typ opravy.

Zároveň pre aplikáciu návaru za hranicu životnosti tlakových častí neexistuje technická ani ekonomická možnosť ich opráv alebo opráv samotného návaru, viď obr. 4 alebo obr. 5. Jediným technickým riešením je vymeniť celú tlakovú časť za novo vyrobenú, prípadne s novým návarom, odrezaním starej časti a navarením časti novej. A v reále je to tiež takto vykonávané.

NÁSTREKY VYSOKORÝCHLOSTNÝM OBLÚKOM TAVENÉHO KOVU (HVTS)

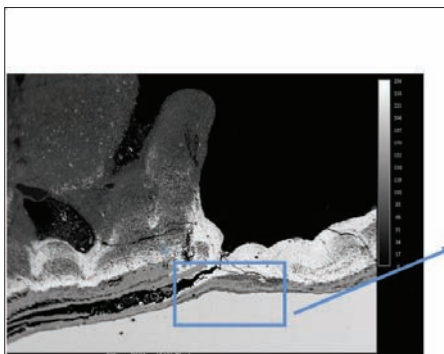
Aplikácia kovových povlakov metódami tepelného nástreku sa už dlhodobo používa pri opravách komponentov pre zvyšovanie ich odolnosti proti opotrebeniu, a do určitej miery aj ku znižovaniu korózie. Povrch sa vytvára postupným nanášaním vrstiev vytvorených z jednotlivých povlakových kvapôčok. Tieto vrstvy sú nespojité a povrch nemá homogénnu štruktúru.

Cesta korózie k základnému materiálu by viedla k vytvoreniu vrstvy korózie medzi povlakom a substrátom. Tento mechanizmus je schematicky znázornený na obr. 6. Ak by sa pre nanášanie povlaku použila aplikačná metóda nástrekov Twin Wire Arch Spray (TWAS) tzn. relatívne pomalé nanášacie rýchlosti pre rozprašovanie, kvapôčky kovu striekané smerom k materiálu substrátu by prešli oxidáciou počas letu kvôli ich zvýšeným teplotám a prítomnosti atmosférickej vlhkosti. V dôsledku toho kvapôčky nástreku vytvárajú výslednú vrstvu s medzivrstvami oxidov a pórovitosťou. Tieto oxidové pásy sú všeobecne silné a keďže sa tvoria v rýchlej turbulentnej reakčnej sekvencii, sú samy o sebe porézne a plné trhlín. Okrem pórovitosti poskytujú oxidové medzivrstvy účinnú iónovú cestu k substrátu pre korozívne prvky v procesnom médiu.

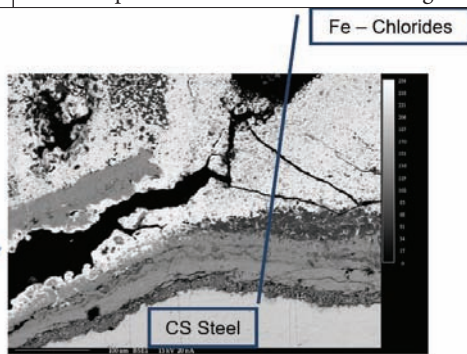
Ako prvý krok k odstráneniu tejto korózneho cesty sú používané aplikácie povlakov metódou vysokorýchlostným oblúkom taveného kovu High Velocity Thermal Spray (HVTS). Táto je charakterizovaná prúdom vysokých rýchlostí jemne rozdelených kvapôčok. Proces HVTS, hoci produkuje jemnejšiu mikroštruktúru než TWAS, má stále značnú oxidovú vrstvu kvôli vysokým teplotám častíc v aplikačnom procese. Vzhľadom k tomu, že táto metóda stále umožňuje koróznou cestu, hoci je dlhšia a kľukatejšia, treba redukovať oxidáciu za letu. To sa dosiahne selektívne modifikáciou legovania nanášaných materiálov, aby sa potlačila tvorba oxidov, ako je tomu u IGS 5-470, materiálu aplikovanému v spaľovni AEB Amsterdam.

AEB AMSTERDAM

AEB prevádzkuje šesť jednotiek v prevádzke v Amsterdame, kde najnovšie jednotky 35 a 36



Obr. 6 Popis oxidov a chloridov



Obr. 7 Mikrofotografia rezu rúrkou tlakovej časti

(tlak 135 barov) vyžadujú každé dva až štyri roky zásadné opravy alebo priamo výmeny výparníkov, vyrobených z materiálu Inconel 625 (pozn.). To všetko z dôvodu kombinácie vysokých povrchových teplôt a obsahu chlóru so všetkými negatívnymi dôsledkami na prevádzkyschopnosť, spoľahlivosť a komerčnú výkonnosť jednotiek. Riadne odstávky boli plánované vždy v časovom úseku po dvoch rokoch. Bohužiaľ celková výkonnosť jednotiek trpela neplánovanými odstávkami, ktoré nastávali v období medzi riadne plánovanými. Ako vlastník tak prevádzkovateľ vtedy hľadali spoľahlivé riešenie tohto problému.

Pozn.

Inconel 625 (UNS označenie N06625) je superzliatina na báze niklu, ktorá má vysokú pevnosť a odolnosť voči vyšším teplotám. To tiež demonštruje pozoruhodnú ochranu proti korózii a oxidácii. Má schopnosť odolávať vysokému namáhaniu a širokému rozsahu teplôt, ako vo vnútri vody, tak i mimo nej, rovnako ako schopnosť odolávať korózii pri vystavení vysoko kyslým podmienkam, je vhodnou voľbou pre jadrové a námorné aplikácie.

**) ppm, parts per million - dielov či častíc na jeden milión, je výraz pre jednu milióntinu (celku).*

RIEŠENIE IGS

IGS bola oslovená spoločnosťou AEB Amsterdam, aby predĺžila životnosť existujúceho systému tlakových častí spaľovne, aby sa výrazne skrátili časy prerušenia prevádzky, znížili náklady na údržbu a predovšetkým aby bola zvýšená spoľahlivosť jednotiek.

Na dosiahnutie tohto cieľa IGS v 2. štvrťroku 2016 realizovala projekt aplikácie superzliatiny IGS 5-470 s povrchovým kondicionérom IGS 6-003H na existujúcom menej výkonnom prvom ťahu kotla nad ukončením žiaruvzdornej výmurovky, kde bola oceľ Inconel 625. Kotol je odvtedy v prevádzke a k žiadnym neplánovaným výpadkom na základe porúch tlakových súčastí v pokrytých oblastiach nedochádza. Také sú skúsenosti zákazníka. Pomer nákladov a výnosov, alebo inými slovami obchodný prípad, na základe ktorého bol projekt založený, zlepšuje celkové náklady pre vlastníka, a je presvedčivým a silným argumentom pre zmenu súčasnej stratégie údržby z výmeny vysoko opotrebovaných tlakových častí stien nových membrán, ak sú chránené novo aplikovaným nástrekom IGS 5-470 v existujúcej opotrebovanej stene membrány. Bez nutnosti rezania do kotla, rizík deformácie a ďalších negatívnych faktorov súvisiacich s takým agresívnym riešením.

Autor:

Dr. Daniel Spálenka
Ředitel obchodního rozvoje
IGS Europe, s.r.o.
Brněnská 289, 664 61 Holasice
Tel.: +420 513 039 135, +420 513 039 134
E-mail:
daniel.spalenka@integratedglobal.com
Výhradní obchodní zastoupení pro Českou a Slovenskou republiku
JEAN PAUL WHITECASTLE, spol. s r.o.,
Kaprova 42/14, Praha 1

ZVÝŠENÁ POHOTOVOSŤ ZARIADENÍ REDUKCIOU PRCHAVÝCH EMISIÍ

RALF KULESSA

ÚVOD

Vzhľadom k tomu, že norma VDI2290 nadobudla platnosť v júli 2012, ktorá je súčasťou nemeckého výboru pre znečisťovanie ovzdušia, tesnosť a difúzne emisie sú hlavnou témou agendy každého majiteľa podniku v Nemecku. Tento článok vysvetľuje, prečo je to veľmi dôležité pre pracovníkov údržby a prečo by sa to čo najskôr malo preniesť a zaviesť aj v iných krajinách.

AKTUÁLNA SITUÁCIA:

Aby sa dodržali lokálne predpisy na meranie únikov, na medzinárodnej úrovni sa často používa „Detekcia úniku a oprava“ (LDAR - Leakage Detection and Repair). LDAR sa aktivuje, hneď ako by mohlo dôjsť k detekcii úniku. Potrubiam treba urobiť obtok, príruby alebo ventily by sa mali vymeniť, ovplyvnené sú procesné parametre a často môže dôjsť k strate produkcie.

Zodpovedajúce nemecké nariadenie pod názvom VDI 2290 je odlišné. Zatiaľ čo LDAR je „reaktívne“, VDI možno považovať za „proaktívne“.

ZÁKLADNÉ URČENIE VDI 2290:

VDI 2290 obmedzuje povolené množstvo difúzných emisií tým, že obmedzuje toto „povolené“ množstvo. Tesnenie s obvodom jedného metra môže mať maximálny únik 0,01 mg za sekundu (predtým: L0,1). Teda tesnenia musia byť stlačené na vyššiu hustotu a musia odolávať dramaticky vyššej hodnote napätia od dosadenia (zaťaženie pri montážnom postupe) alebo musia zabraňovať vyššiemu dopružovaniu, aby sa dosiahla táto úroveň tesnosti, tzv. „trieda tesnenia L0,01“ a súčasne všetky príruby musia vydržať vyšší pomer zaťaženia ako aj **všetky použité skrutky musia** vydržať vyššie namáhanie v ťahu.

Podrobná kontrola prípustnosti pre každý spoj je uvedená v norme DIN EN 1591, na ktorú odkazuje VDI 2290.

VDI 2290 je povinná v Nemecku pre:

1. Všetky kovové príruby, kde sa používajú kvapalné a plyné médiá, ktoré sú kritické pre ľudí alebo pre environmentálne aspekty („TA - vzduchové médiá“) a teploty do 400°C (752°F). To ovplyvňuje širokú škálu podnikov, podnikateľských segmentov a ľudí, aby vyhovelí tomuto technickému predpisu, ako sú vlastníci chemických a petrochemických závodov (na pevnine alebo v pobrežných oblastiach) a na konci roku 2017 sa to bude týkať aj spoločností z oblasti potravinárskeho a farmaceutického priemyslu, ako aj bežných vykurovacích spoločností, ktoré zasobujú súkromné domy a budovy.
2. Okrem prírub, pre ktoré nie je možné priradiť žiadne tepelné vlastnosti ani mechanické vlastnosti. Napríklad príruby pokryté sklom, príruby pokryté PTFE alebo polypropylénové príruby (PP).
3. Ak je príruha otvorená alebo potrubie je v údržbe: Každá príruha sa teraz musí plne

zdokumentovať a vypočítať na príslušný krútiaci moment a tesnosť podľa DIN EN 1591-1. V takomto prípade sa musia vykonať výpočty s niekoľkými rôznymi skrutkami a tesneniami (zvyčajne sa používajú rôzne skrutky alebo rôzne tesnenia a krútiaci moment; plány potrubí sa eventuálne musia upraviť).

4. Pracovníci montáže musia byť vyškolení v súlade s normou DIN EN 1591-4, aby sa zaručila bezporuchová činnosť.

LEPŠIE POCHOPENIE VÝSLEDKOV VÝPOČTOV DIN EN 1591-1 PRE PRÍRUBY A SKRUTKY:

Aby sa zabezpečila vyššia tesnosť systému spoja, príruby, tesnenia a skrutky sa teraz robia na vyššiu úroveň zaťaženia. Často je potrebné meniť skrutky za kvalitnejšie, čo je drahšie, a často je potrebné vymeniť staré alebo slabé príruby. Výsledky výpočtov nielenže spotrebúvajú čas, ale aj peniaze. Niekedy musí zákazník prejsť na iný tesniaci materiál, ktorý spĺňa požiadavky (alebo má lepšiu tesnosť pri nižších zaťažovacích podmienkach alebo vykazuje lepšie spätné odpruženie).

V tejto norme je jediná veta, kde je napísané: „... musí byť preukázané, že za prvé, minimálne povrchové tlaky počas montáže (Q min (L)) a po uvoľnení (prevádzka) (QS min (L)) a prípustné napätia všetkých častí prírubového spoja (vrátane skrutiek, podložiek a prírub) sú dodržané ...“ pred montážou. Táto krátka veta udáva spôsob pre výpočty podľa DIN EN 1591-1, ktoré sa teraz musia vykonať, aby sa poskytol zodpovedajúci dôkaz tesnosti v kombinácii s aplikovaným krútiacim momentom pred montážou. Priamym výsledkom iteratívneho numerického výpočtu podľa DIN EN 1591-1 je vhodný krútiaci moment kombinovaný s vybranou triedou tesnosti a zodpovedajúcim montážnym postupom. Pre lepšie porozumenie je uvedený minimálny prípustný krútiaci moment a maximálna hodnota, ako aj všetky hodnoty pevnosti v ťahu pre časti spoja (uvedené v % ich prípustného namáhania). Pozri obr. 1.

DETAILNÝ POHLED:

Triedy potrubia pozostávajú z rôznych veľkostí prírub, rôznych skrutiek a rôznych tesnení!

Jedna z najdôležitejších vecí pre všetkých majiteľov zariadení a ich pracovníkov montáže **sú identické krútiace momenty pre skrutky s rovnakým menovitým priemerom.**

Na obr. 2 sa nachádzajú všetky skrutky (oceľ triedy 5.6), ktoré boli úspešne vypočítané podľa DIN EN 1591-1 a rovnaké menovité priemery skrutiek, ktoré vykazujú rovnakú hodnotu krútiaceho momentu, dokonca aj vtedy, ak sa veľkosti prírub alebo počet použitých skrutiek líšia.

Na obr. 2 je prímer skrutky M16 použitý pre rôzne veľkosti prírub, ale napriek tomu je schopný zvládnuť všetky sily, a to aj v prípade keď DN125 má len rozsah od 64 do 67 Nm počas montáže.

- pokračovanie na strane 6

MOunting crew Training
Falkenberg
41468 Neuss - GERMANY

calculated: Ralf Kulesa
checked: Thomas Schmitz
revision: ver1.0

flange #: Trainingsflansch No.61235
plant: not given, manually mounted
ID code: not given
nomenclature: Edelstahlflansch /Stainless Steel # Plant NEUSS

Flange calculation according to EN 1591-1:2014

Garlock

licensed for: Garlock GmbH

test condition: 20 °C 14,3 bar
load condition 1: 50 °C 10 bar
load condition 2: 200 °C 10 bar

bolts: A2-70
8 x M16 (DIN 933:1970)
gasket: Gylon® Style 3504 3,2mm (Rev. 2)
162 x 115 x 3,2 mm
tightness class: L 0.01

tightening device: torque wrench = wrench with measuring of torque (only)

recommended assembly presetting:

min. required assembly presetting: 130 Nm, 0,074 mm, 404 kN
max. allowable assembly presetting: 63 Nm, 0,036 mm, 196 kN
max. load ratio bolts: 0,97 (assembly)
max. load ratio flange 1: 0,57 (assembly)
max. load ratio flange 2: 0,46 (load cond. 1)
max. load ratio gasket: 0,26 (assembly)
compliance of min. required gasket stress: ok

Obr. 1 Príklad odporúčanej hodnoty krútiaceho momentu

PIPING CLASS CALCULATION										
Garlock G9900 # 5.6screw DIN1092-1 Type04/34Flanges Sealant class / scope L0.01 DIN 2.0872 flanges, 10bar, 80°C										
	DN10 PN10	DN15 PN10	DN20 PN10	DN25 PN10	DN32 PN10	DN40 PN10	DN50 PN10	DN65 PN10	DN80 PN10	DN100 PN10
used assembly bolt force	74	74	74	75	146	146	143	286	286	286
corresponding torque	26	26	26	26	65	65	65	65	65	65
min torque	13	15	24	26	40	48	58	33	38	37
max torque	27	27	27	27	66	66	66	67	67	70
Allowable load ratio of gasket	41	34	18	14	21	16	13	18	14	20
load ratio SCREW for working condition (%) #80°C, 10bar#	28	34	68	94	40	49	61	36	43	47
load ratio SCREW on mounting procedure (%) # 20°C	97	97	97	98	98	98	98	97	97	93
Maximum load ratio FLANGES on working condition (%)	22	30	37	47	40	46	52	57	65	60
SCREW/BOLT-SIZE	M12					M16				

Obr. 2 Skrutka z ocele triedy 5.6 s 65 Nm

ZMENA INTEGRITY PRE TRIEDY POTRUBIA PRI POUŽITÍ SKRUTIEK VYŠŠEJ KVALITY:

Ak sa v rámci podniku používajú rôzne skrutky a eventuálne každé potrubie má rôzne pracovné podmienky, nájdeme úplne odlišné zaťažovacie situácie pre príruby rovnakej veľkosti iba zmenou skrutky. Obr. 3 porovnáva rovnaké príruby za rovnakých pracovných podmienok, ale s rôznymi skrutkami. V súčasnej dobe sa používa oceľ triedy 8,8, ktorá

PIPING CLASS CALCULATION

Garlock G9900 # 8.8screw
DIN1092-1 Type04/34Flanges
Sealant class / scope L0.01
DIN 2.0872 flanges, 10bar, 80°C

	DN10 PN10	DN15 PN10	DN20 PN10	DN25 PN10	DN32 PN10	DN40 PN10	DN50 PN10	DN65 PN10	DN80 PN10	DN100 PN10	DN125 PN10	DN150 PN10	DN200 PN10
used assembly bolt force	142	142	142	142	187	187	187	373	373	373	373	441	441
corresponding torque	50	50	50	50	85	85	85	85	85	85	85	125	125
min torque	13	15	24	26	40	48	58	33	38	37	54	72	93
max torque	57	57	57	57	142	142	142	95	96	100	130	168	218
Allowable load ratio of gasket	79	65	35	26	28	21	17	24	19	26	14	16	10
load ratio SCREW for working condition (%) #290°C, 10bar#	14	17	24	29	19	23	28	17	20	22	29	20	26
load ratio SCREW on mounting procedure (%) # 20°C	88	88	88	88	60	60	60	59	59	57	59	45	45
Maximum load ratio FLANGES on working condition (%)	27	28	30	38	41	47	52	58	66	62	65	61	62
SCREW/BOLT-SIZE	M12					M16							

Obr. 3 Dávajú skrutky ocele triedy 8.8 skutočne širší rozsah?

má vyššiu pevnosť v ťahu a ak príruby nie sú obmedzené projektovaným prekročením namáhania, tak teraz bude širší rozsah prípustného rozsahu krútiaceho momentu. V uvedenom príklade teraz môže mať príruha veľkosti DN 125 krútiaci moment medzi 54 až 130 Nm, čo je väčší interval.

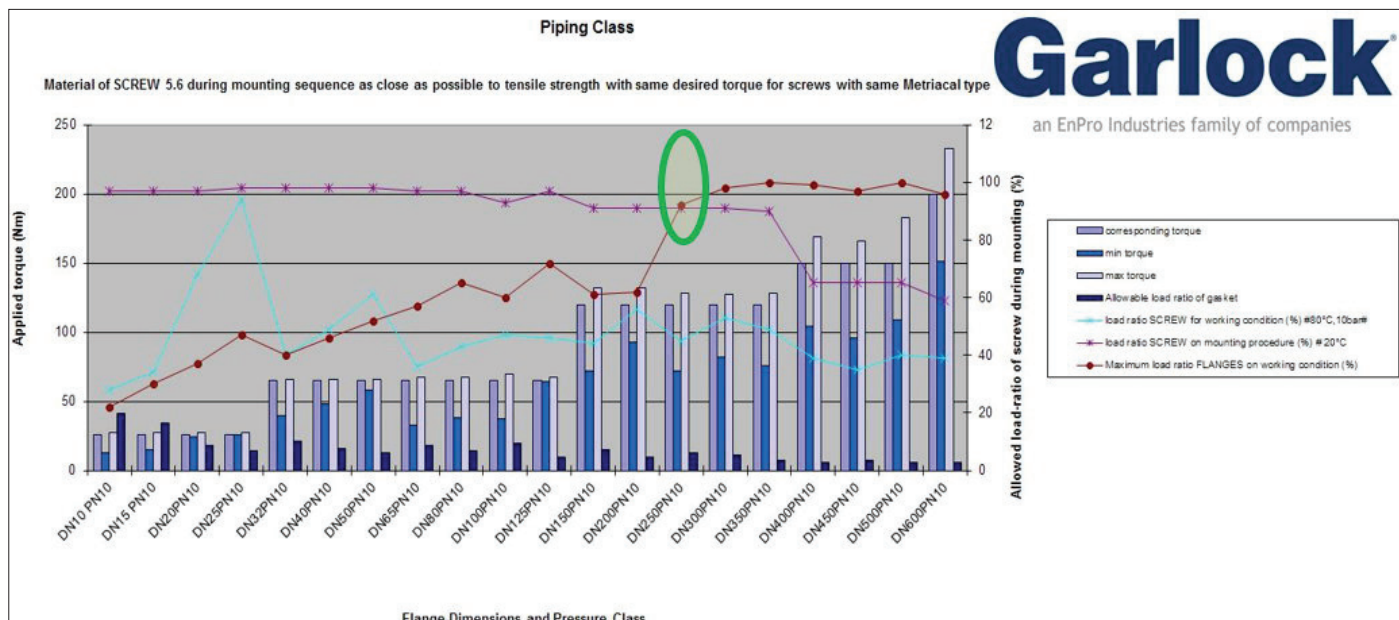
Teraz sa skrutky triedy 8,8 zdajú byť lepšie, v porovnaní so skrutkami triedy 5,6, ale mal by sa brať do úvahy kritický bod, kde je potrebné znížiť zaťaženie skrutky kvôli slabým prírubám. Ohyb prírub so skrutkou triedy 5,6 začína byť príliš vysoký, začínajúc od DN 200, a namáhanie v ťahu skrutky triedy 5,6 sa musí znižovať od DN 350. Dokonca aj kritický bod, kde sa odporúča lepšia kvalita príruby, je blízko DN 350 pri skrutke triedy 5,6.

Pri pozornom sledovaní tej istej situácie pre skrutky triedy 8,8 sa situácia úplne mení. Kritický bod, kde je potrebné zmenšiť zaťaženie skrutky, je ešte skôr pri použití skrutiek vyššej triedy ako pri použití skrutiek nižšej kvality! Stále zabezpečujú rovnakú tesnosť a rovnakú technickú úroveň bezpečnosti ako predtým, ale výsledok sa líši dramaticky.

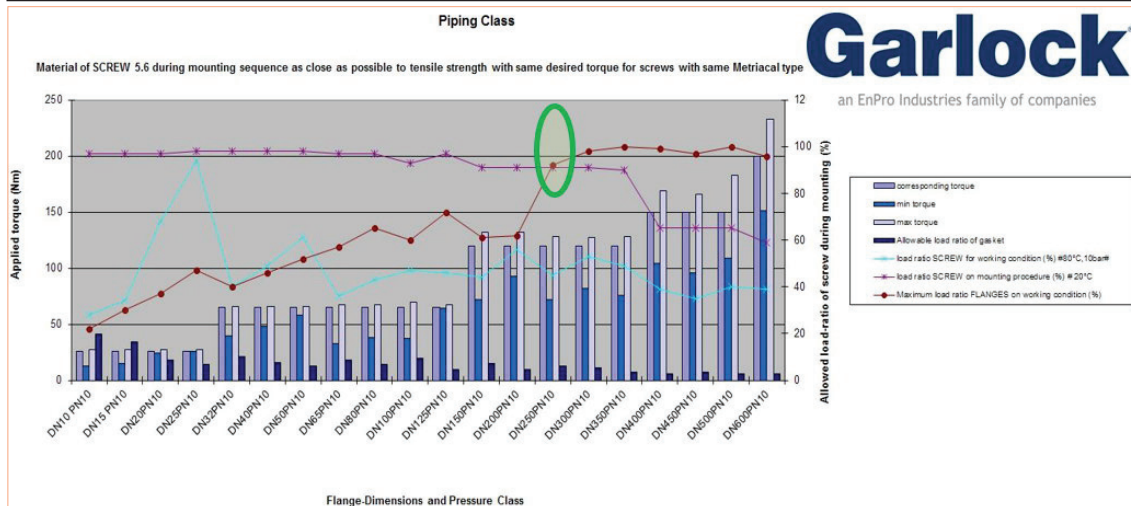
Iba pri vykonávaní výpočtov v príkladoch, ako je DIN EN 1591-1 pred montážnym postupom, je možné analyzovať spoje a môžu sa navrhnúť technické tesnenia na dlhé roky!

Otázky, ktoré majú veľký význam, ako napr.: „Čo sa stane s prípustnou pevnosťou v ťahu prírub, ak sú teraz skrutky utiahnuté na vyššiu úroveň, alebo aký druh činnosti má tesnenie zvládnuť s ohľadom na maximálne a minimálne zaťaženie“, je možné zodpovedať priamo.

V dôsledku tejto situácie sa v Nemecku teraz tiež nepovoľuje použitie AD 2000 B7, ktorá sa bežne používa na navrhovanie tlakových nádob, výmenníkov tepla alebo komponentov potrubia a ASME, časti VII, oddielu 1, prílohy 2, pretože obe majú rovnakú rozhodujúcu nevýhodu: Nezabezpečujú nepriepustnosť, kde sa nezohľadňuje ani „správanie tesnenia“ v rámci výpočtovej metódy, ani sa nezohľadňuje tesnenie alebo vlastnosti tesnenia.



Obr. 4 Skrutka triedy 5.6 má kritický bod začínajúci priemerom (DN)350--



Obr. 5 Skrutka triedy 8.8 má kritický bod začínajúci priemerom (DN)65--

Existujú aj iné metódy výpočtu, ktoré je možné použiť. KTA 3211.2 je stále povolená (jadrový štandard) a poskytuje takýto výpočet tesnosti, avšak KTA je iba návrhom a preto sa nemusia výsledky brať do úvahy. Vykonanie analýzy metódou konečných prvkov (tiež povolené) na každom spoji by bolo nielen drahé, ale bolo by aj veľmi časovo náročné.

DOPADY NA PRIEMYSEL:

Metóda výpočtu podľa DIN EN 1591-1 už bola preložená do niekoľkých medzinárodných celoštátnych noriem, ako sú normy pre Švajčiarsko, Rakúsko a Švédsko. Taktiež všetky spoločnosti vyrábajúce tesniace vložky musia teraz implementovať proces určovania charakteristík podľa DIN EN 13555 (jeden typ môže ľahko trvať aj 6 mesiacov), len aby sa mohli vypočítať tieto triedy potrubí podľa DIN EN 1591-1.

Majitelia firiem teraz menia svoj názor:

V niektorých zariadeniach sa typicky používa LDAR (detekcia úniku a opravy). Ale LDAR je len **reaktívna** norma. Najskôr príde únik, potom zodpovedajúca reakcia! Tento postup vo väčšine prípadov spôsobuje vyššiu cenu a spotrebuje viac pracovníkov/pracovných hodín ako výpočet podľa VDI2290 pred montážou. Ak vezmeme do úvahy LDAR, zapája sa pri tom veľa ľudí a veľa ľudí potrebuje prístup aj do zariadenia na vykonávanie meraní. Stráca sa veľa produkcie, ak sa LDAR musí uviesť do činnosti a dlhodobé celkové náklady sú vyššie ako v porovnaní s výpočtami vykonanými podľa DIN EN 1591-1 a odporúčaniami uvedenými v VDI2290. Typicky možno výpočty podľa DIN EN 1591-1 nazvať **PRO-AKTÍVNA** norma.

ČO AK:

- Čo ak by sme boli schopní robiť niečo proaktívne ako je VDI-2290 miesto LDAR?
- Čo ak by sme dokázali tesnenia posunúť na vyššiu úroveň a dokonca týmto výrazne znížiť aj prchavé emisie a straty produkcie?
- Čo ak sú celkové náklady dramaticky nižšie, pretože montáž a znečistenie životného prostredia v kombinácii s neplánovanými dodatočnými odstávkami a neplánovanými montážnymi nákladmi sú takmer vylúčené, ak sa použijú výpočty podľa VDI2290 a DIN EN 1591-1?

Majitelia podnikov teraz dokážu znížiť

prestoje, znížiť dlhodobé náklady, znížiť stratu produkcie, znížiť prchavé emisie a zvýšiť úroveň bezpečnosti, zvýšiť výstup svojej produkcie, stabilizovať parametre procesu, vytvoriť dobré vzťahy s verejnosťou, pričom je uvedených len niekoľko kľúčových prínosov, ktoré možno dosiahnuť proaktívnym spôsobom ako je VDI2290. Nechajme len jednu nezodpovedanú otázku: Ako povedať vášmu oddeleniu nákupu, že celkový najlepší výsledok sa nedá dosiahnuť najlacnejším nákupom, ktorý vedie urobiť?

Prínosy z výpočtov podľa VDI-2290 a DIN EN1591-1 sú ohromujúce.

- Vďaka vykonaným výpočtom majiteľa podnikov môžu často používať svoje staré príruby.
- Prírubby nie sú toľko poškodené alebo plasticke deformované. Metóda výpočtu umožňuje mierne plasticke deformácie, ale stále sa počíta pomer úniku vzhľadom na zmenšenú plochu tesnenia v dôsledku rotácie príruby
- Často sa dá dosiahnuť **menšia strata produkcie** (znížené znečistenie životného prostredia).
- Často sa dajú dosiahnuť po prvotnej prevádzke **nižšie náklady na údržbu**.
- Často je možné **dramatické zvýšenie pohotovosti zariadenia**.
- Často sa dajú dosiahnuť **dramaticky nižšie dlhodobé prevádzkové náklady**.
- Synergetické efekty ako sú nižšie náklady na poistenie, nižšie riadenie rizík, bezpečnejšie a zdravšie priestory v kombinácii s menej negatívnou publicitou sa tiež dajú dosiahnuť

Jeden hlas zákazníka (Voice of the customer VOC), ktorý už tento komentár poskytol časopisu „Chemical Processing“ spoločnosti Sean Ottewell uverejnenému vo februári 2016, tu treba uviesť: „Prchavé emisie spôsobujú straty počas výroby, prepravy a skladovania. Mnohé z dotknutých látok sú toxické a vyžadujú know-how a najmodernejšiu technológiu na obmedzenie ich uvoľňovania,“ poznámka Christoph Moritz, koordinátor kvality ovzdušia, BASF, Ludwigshafen, Nemecko.

Niektorí z majiteľov obrovských podnikov dokonca idú zaviesť túto normu aj do svojich závodov nachádzajúcich sa v krajinách mimo Európy, pretože už dosiahli obrovské úspory. Majitelia obrovských podnikov už uznali

prínosy, ktoré sú neuvieriteľne vysoké v porovnaní so skutočnými nákladmi, ktoré boli predpokladané na začiatku, odmietajúc všetky aktivity potrebné na splnenie VDI-2290 a teraz sú ohromení z prínosov keď tak urobili...

Dokonca aj úspora ich plyných produktov je obrovská. Pamätajte: zvýšená tesnosť, kde povolený pomer je teraz nastavený len na 0,01 mg na meter za sekundu. ÁNO, za sekundu! Ak je možné nastaviť tesnosť na L 0,001 alebo dokonca na L 0,00001

(moderné tesniace materiály sú schopné to splniť), stratený produkt v podniku sa dá merať v megatonách za rok bez viditeľného úniku len kvôli difúznym emisiám. Menej straty produktu možno porovnať s **generovaním priamych finančných výnosov**.

Záver:

Moderné metódy výpočtov prírubových spojov pred montážou sa budú robiť po celom svete. Norma VDI2290, ktorá je v súčasnosti len národnou normou v Nemecku, sa už začala šíriť po celej Európe, dokonca aj na Blízkom východe.

Spoločnosti zaoberajúce sa tesneniami, ktoré robia výpočty podľa normy DIN EN 1591-1, a školenia pracovníkov montáže v súlade s normou DIN EN 1591-4 je ťažko nájsť na trhu. Spoločnosť Garlock GmbH však ponúka služby, ako aj osvedčené riešenia v oblasti tesnení, ktoré znižujú prchavé emisie a prinášajú možnosť zvýšiť pohotovosť zariadení

Premýšľali ste niekedy o príčine, prečo môžete vždy niečo cítiť keď idete cez veľký podnik, aj keď nie je žiaden viditeľný únik?

Ponechajúc len niekoľko otázok bez odpovede:

1. Ako povedať svojmu nákupnému oddeleniu, že zvýšenie priamych predajov a celková víťazná situácia sa nedá dosiahnuť nákupom najlacnejších tesnení ...
2. Kde oddeliť hlavných hráčov na trhu s tesneniami od „Tak dobrých ako“...
3. Ako vycvičiť pracovníkov montáže a kde získať výpočty ...

LITERATÚRA:

- VDI – 2290 :JUN2012, Emission Control – Sealing constants for flange connections, by Verein Deutscher Ingenieure
- Chemical Processing with Garlock, Plants Plug away at leaks, by Sean Ottewell, Feb 2016

Autor:

Ralf Kulesa
Application Specialist
Garlock GmbH, Falkenweg1, 41468 Neuss,
mail: Ralf.Kulesa@garlock.com
Markéta Šimkovičová
Area manažér pre SR a ČR
mail:marketa.simkovicova@garlock.com
+421 911 748 743

MERANIE CHARAKTERISTÍK POLOHY PRIEMYSELNÉHO ROBOTA

VLADIMÍR TLACH
MIROSLAV ČÍŠAR
IVAN KURIC

Abstrakt: Charakteristiky polohovania sú jedným z najdôležitejších parametrov v oblasti priemyselnej robotiky a CNC obrábacích strojov. Počas prevádzky stroja môže dochádzať k zmene pracovných charakteristík a preto je potrebné vykonávať ich meranie v pravidelných intervaloch. Toto meranie by malo byť čo najrýchlejšie a najjednoduchšie. V prípade CNC obrábacích strojov sa na takéto účely bežne používa zariadenie Renishaw Ballbar. Toto zariadenie spĺňa obe vyššie uvedené požiadavky, ale neponúka rovnaké množstvo informácií pre priemyselné roboty, ako v prípade CNC obrábacích strojov. Meranie zariadením Renishaw Ballbar na priemyselnom robote si však vyžaduje špeciálny prístup k meraniu a analýze dát, ktoré sú hlavnou témou prezentovaného článku.

Kľúčové slová: Renishaw Ballbar, Charakteristiky polohovania, Priemyselný robot

1 ÚVOD

Priemyselné roboty sú okrem vlastností ako je nosnosť, tvar a veľkosť pracovného priestoru, špecifikované aj pracovnými charakteristikami. Tie sú definované v norme ISO 9283, ktorá pracovné charakteristiky rozdeľuje do štyroch základných skupín: charakteristiky polohy a dráhy, minimálny čas polohovania a statická poddajnosť. Výrobcom priemyselných robotov najčastejšie v technickej dokumentácii uvádzajú jednosmernú opakovateľnosť polohovania (RP), ktorá patrí do skupiny charakteristík polohy. [1] Uvedená norma okrem definície jednotlivých charakteristík, uvádza aj odporúčané podmienky ich merania a vyhodnocovania. V práci [2] autori poukázali na niekoľko nedostatkov tejto normy, medzi ktoré patrí aj chýbajúca špecifikácia meracieho zariadenia pre testovanie jednotlivých charakteristík. To dáva používateľovi priemyselného robota možnosť rozhodnúť, aké meracie zariadenie bude použité. V odborných publikáciách bolo v súvislosti s meraním pracovných charakteristík prezentovaných niekoľko meracích zariadení, ako napr. číselníkový odchyľkometer [3, 4], laserový interferometer [5, 6], laser tracker [7, 8], kamerové systémy [9] a Ballbar [10, 11].

Počas prevádzky priemyselného robota, môže vplyvom rôznych faktorov dochádzať k zmene pracovných charakteristík. V článku [12] je uvedených päť faktorov spôsobujúcich ich zmenu. Jedná sa o chyby environmentálne, parametrické, výpočtové, chyby odmeriavania a chyby spôsobené samotnou aplikáciou robota. V súčasnosti sa priemyselné roboty používajú okrem iného aj v aplikáciách vyžadujúcich vysokú opakovateľnosť. Ide o roboty s opakovateľnosťou $\pm 0,02\text{ mm}$, používané pre presné manipulačné alebo meracie operácie. V takýchto aplikáciách je o to dôležitejšie vykonávať meranie priemyselného robota v pravidelných intervaloch. Tým je zabezpečené dlhodobé sledovanie stavu priemyselného robota, na základe čoho môže byť naplánovaná jeho údržba resp. odstávka. Jednou z požiadaviek na takéto pravidelné meranie je jeho jednoduchosť a rýchlosť.

Mnohé z metód prezentovaných v odborných publikáciách, predstavujú zložitý proces merania a ďalším problémom môže byť aj vysoká cena meracieho zariadenia.

V prípade CNC obrábacích strojov sa ako štandardný nástroj na meranie pracovných charakteristík, používa zariadenie typu Ballbar. To umožňuje realizovať rýchle a zároveň jednoduché meranie pre kalibráciu a hodnotenie vlastností CNC obrábacieho stroja. Samotný proces merania je založený na zmene polomeru pri vykonávaní kruhových dráh (resp. časti oblúka) okolo pevného bodu určeného stredovým stojančekom. S využitím nadstavcov je možné meranie realizovať na polomeroch od 50 po 600 mm. Takto získané údaje sú ďalej spracované v softvéri Ballbar 20 a použité pre výpočet celkovej hodnoty presnosti stroja v súlade s platnými medzinárodnými normami. [13] Tento článok prezentuje aplikáciu merania s využitím Ballbaru na priemyselnom robote Fanuc LR Mate 200iC. Ide o priemyselného robota štandardnej konštrukcie so šiestimi riadenými osami, nachádzajúceho sa v laboratóriu na katedre automatizácie a výrobných systémov, Žilinskej univerzity v Žiline.

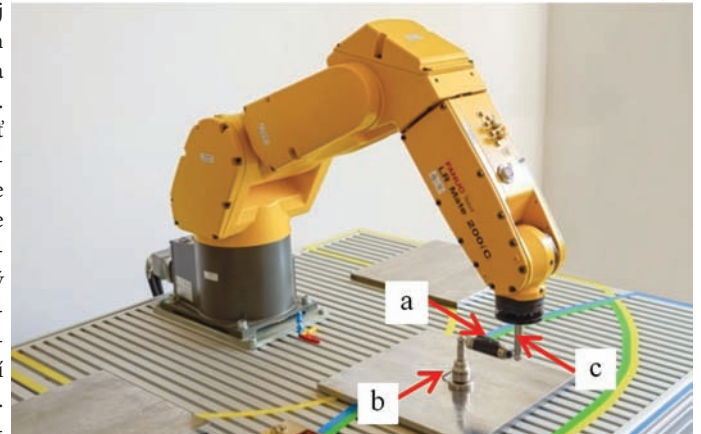
Účelom popísaného merania je overenie opakovateľnosti v rámci polohovania koncového člena robota v čo najkratšom čase a čo najjednoduchším spôsobom. Opakovateľnosť predstavuje schopnosť robota opakovane nadobúdať rovnakú pozíciu jeho TCP bodu (Tool Center Point). Merací postup a softvér, dodávaný spolu s Ballbarom bol špeciálne vyvinutý, pre použitie na obrábacom stroji, u ktorého je kruhový pohyb vytváraný súčasným pohybom dvoch na seba kolmých lineárnych osí, čo v prípade sériových priemyselných robotov nie je možné [5]. Z tohto dôvodu si meranie na priemyselnom robote vyžaduje špeciálny prístup k meraniu a analýze dát, ten je zároveň hlavnou témou tohto článku. Pre účel generovania kruhových dráh je využívaný špecializovaný softvér vyvíjaný na Katedre automatizácie a výrobných systémov.

2 METÓDA MERANIA

Meranie bolo vykonané na priemyselnom robote Fanuc LR Mate 200iC, nachádzajúcom sa v laboratóriu katedry. Celá meracia zostava je znázornená na Obr. 1 a skladá sa z už spomínaného robota a meracieho systému Renishaw Ballbar QC20-W. Koncový člen robota je počas merania zaťažený hmotnosťou 360 g (7.2% z celkovej nosnosti daného robota).

Meracia zostava je tvorená Ballbarom, magnetickým stredovým stojančekom upnutým na stole vybaveným magnetickou miskou do ktorej presne zapadá koncová guľôčka ballbaru, a nástrojovou magnetickou miskou, ktorá sa upína

na prírubu robota pomocou predlžovacieho nadstavca. Magnetická miska stredového stojančeka predstavuje pevný bod otáčania. Nameňované údaje sú do PC prenášané prostredníctvom rozhrania bluetooth. Presnosť snímača $\pm 0,5\mu\text{m}$



Obr. 1 Meracia zostava

a - Ballbar, b - magnetický stredový stojanček, c - nástrojová magnetická miska

(udávaná pri 20°C) a merací rozsah $\pm 1\text{ mm}$, radiá Ballbar medzi veľmi presné meradla [13]. Avšak práve táto vysoká presnosť a obmedzený rozsah merateľných odchýlok môže predstavovať problémom pri meraní priemyselných robotoch, pretože tie nedosahujú takú úroveň presnosti ako CNC obrábacie stroje a z tohto dôvodu nemusia byť možné týmto zariadením odmerať ich charakteristiky.

Meranie so systémom Ballbar je založené na meraní odchýlok polomeru medzi naprogramovaným a skutočným polomerom kruhovej dráhy koncového člena robota. V programovacom prostredí robota Fanuc, môže byť kruhová dráha vytvorená jedine pomocou dvoch polkružníc. Počas vykonávania takto vytvorenej dráhy, TCP bod robota po opísaní prvej polkružnice zastaví v jej koncovom bode. Následne sa znovu rozbieha, pre opísanie druhej polkružnice. Plynulú dráhu je možné docieľť použitím funkcie pre obchádzanie koncového bodu, avšak v takomto prípade sa kruhová dráha deformuje na elipsu. Kruhová dráha zložená z dvoch polkružníc je preto pre meranie s Ballbarom nevhodná.

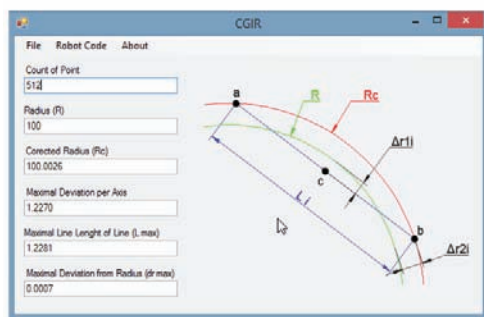
V predchádzajúcich experimentoch, ktorých výsledky budú čoskoro publikované, bolo realizované meranie na CNC obrábacom stroji, s kruhovou dráhou tvorenou 512 bodmi spojenými úsečkami. Pri porovnaní merania s takto vygenerovanou dráhou a kruhovou dráhou vytvorenou pomocou príkazov pre kruhovú interpoláciu je výsledkom zanedbateľný rozdiel, predstavujúci odchýlku medzi dvomi po sebe nasledujúcimi zhodným meraniami. Preto sme aj pri meraní na robote Fanuc zvolili kruhovú dráhu tvorenú množstvom bodov.

2.1 PRÍPRAVA MERANIA

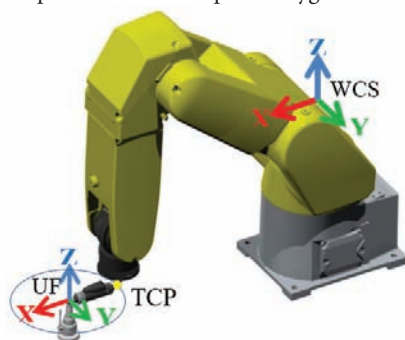
Prvým krokom pred samotným meraním je naprogramovanie kruhovej dráhy o danom polomere, ktorá bude slúžiť pre meranie. Z dôvodu vyššie uvedených skutočností sme sa rozhodli pre kruhovú dráhu tvorenú množstvom bodov. Pre účely experimentu, bola vytvorená aplikácia

- pokračovanie na strane 9

CGIR (Circle Generator for Industrial Robot) - Obr. 2a, umožňujúca vypočítať súradnice (X a Y) jednotlivých bodov na kružnici tak, aby výsledný polygón bol čo najpresnejšou aproximáciou teoretickej meranej kružnice a zároveň vygenerovať riadiaci program pre robota Fanuc. Vygenerovaný program má textový formát s príponou súboru „.LS“. Ak riadiaci systém robota obsahuje softvérové rozšírenie „ASCI Program Loader (R796)“, potom je možné tento program doň priamo načítať. V opačnom prípade, je možné pomocou off-line softvéru pre roboty Fanuc – RoboGuide, program v takomto formáte prekonvertovať do súboru s príponou „.TP“ a následne načítať do riadiaceho systému robota. Stred vypočítanej kružnice so súradnicami $\{X=0; Y=0; Z=0\}$, zároveň predstavuje počiatok užívateľského súradnicového systému (UF). Ten je definovaný voči svetovému súradnicovému systému (WCS) - Obr. 2b. Vďaka tomu je možné ten istý program s meracou kružnicou, použiť v ľubovoľnej pozícii v rámci pracovného priestoru robota. V našom prípade sme zvolili tri meracie pozície, pričom tie sú menené úpravou súradníc UF. Pre prvú má UF súradnice $\{X=500; Y=0; Z=-179\}$, pre druhú $\{X=200; Y=494; Z=-179\}$ a pre tretiu meranú pozíciu $\{X=200; Y=-494; Z=-179\}$.



a



b

Obr. 2 Aplikácia pre výpočet bodov na kružnici (a) a umiestnenie súradnicových systémov na robote Fanuc LR Mate 200iC (b)

Pre meranie so zariadením Ballbar je potrebná kružnica o polomere R . Pre meranie je táto kružnica nahradená korigovanou kružnicou o polomere R_c , tvorenou n -bodmi. Po spojení týchto bodov úsečkami, vzniká n -hranný polygón, predstavujúci čo najpresnejšiu aproximáciu požadovanej kružnice o polomere R . Súradnice v riadiacom systéme robota je možné zadávať s presnosťou na tri desatinné miesta, čo je zohľadnené pri výpočte X a Y súradníc vrcholov spomínaného polygónu, podľa vzťahov (1) a (2).

$$x_i = \frac{n \cdot \text{int}(\cos(\alpha_i) \cdot R_c \cdot 1000)}{1000} \quad (1)$$

$$y_i = \frac{n \cdot \text{int}(\sin(\alpha_i) \cdot R_c \cdot 1000)}{1000} \quad (2)$$

Kde α_i predstavuje uhol medzi spojnicu stredú korigovanej kružnice a osou X proti smeru hodinových ručičiek. Tento uhol je určený vzťahom (3).

$$\alpha_i = \frac{\varphi}{n} \cdot i + \varphi \quad (3)$$

Kde i je od 0 po n , pričom n predstavuje počet bodov (vrcholov polygónu). φ predstavuje meraný uhol pre kružnicu, teda ak sú počítané súradnice bodov na celej kružnici, potom $\varphi = 360$.

Pre určenie polomeru korigovanej kružnice je využitá numerická metóda, ktorá na základe geometrických prepočtov kontroluje odchýlku polygónu od požadovanej kružnice s využitím nasledujúcich vzorcov.

$$\Delta_{r1i} = \left| R - \frac{\sqrt{(x_i + x_{i+1})^2 + (y_i + y_{i+1})^2}}{2} \right| \quad (4)$$

$$\Delta_{r2i} = \left| R - \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \right| \quad (5)$$

$$\Delta_{rmax} = \max(\Delta_{r1i} \cup \Delta_{r2i}) \quad (6)$$

Z takto určených súradníc bodov je podľa vzťahu (7) počítaná dĺžka úsečky, spájajúca dva susedné body na polygóne.

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (7)$$

2.2 REALIZÁCIA MERANIA

Pre meranie bol využitý korigovaný polomer opísanej kružnice, tvorenej 512 bodmi o polomere 100,0026mm, pričom maximálna dĺžka úsečky $L_{max} = 1,2281\text{mm}$, bola volená tak aby odchýlka od skutočnej kružnice R bola čo najmenšia (0,0007mm). Korigovaný polomer opísanej kružnice je určený výpočtom tak, aby bol výsledný polygón čo najpresnejšou aproximáciou požadovanej kružnice. Na základe týchto parametrov boli v aplikácii vygenerované

striedavo na každej z troch meraných pozícií, ktorý spoľahlivo nasimuloval stav, v ktorom by sa robot nachádzal okamžite po prerušení výroby.

3 VÝSLEDKY MERANIA

Vykonané laboratórne testy, pozostávali z dvoch sérií merní. V prvej z nich bolo realizovaných 5 opakovaných meraní na každej z troch meraných pozícií. Jedným zo zistení je značný rozdiel medzi skutočnou rýchlosťou pohybu TCP bodu robota a rýchlosťou zadanou v riadiacom programe. Vo všetkých piatich meraniach v každej pozícii, bola definovaná maximálna lineárna rýchlosť, ktorá u tohto modelu robota má hodnotu 4000mm/s. Priemerná nameraná rýchlosť z piatich meraní predstavuje 77.6mm/s pre prvú pozíciu, 77.5mm/s pre druhú a 77.9mm/s pre tretiu meranú pozíciu. Zistené rozdiely rýchlosti je možné pripísať veľmi krátkej dráhe medzi jednotlivými bodmi korigovanej kružnice. Zároveň sa tým potvrdila hypotéza, že udávaná maximálna rýchlosť, predstavuje len teoretickú rýchlosť získanú z matematického modelu robota a maximálnych uhlových rýchlostí jednotlivých kĺbov robota. Na dosiahnutie takto vysokej lineárnej rýchlosti, by bola potrebná dostatočne dlhá dráha, ktorá podľa nášho názoru je dlhšia než dovoľuje pracovný priestor robota.

Zároveň táto séria meraní naznačuje veľmi dobrú opakovateľnosť daného robota, čo potvrdzuje výsledky meraní uvedených v článku [1] a v diplomovej práci [14], kedy opakovateľnosť tohto priemyselného robota bola meraná s využitím laserového interferometra Renishaw XL-80 a digitálneho odchýlkomera. Konzistentnosť výsledkov merania zariadením Ballbar je však potrebné overiť väčším počtom meraní.

Druhá séria meraní bola vykonávaná len na jednej z pozícií ($UF = \{X=500; Y=0; Z=-179\}$), z cieľom overiť vplyv parametru CNT na výsledky merania. CNT predstavuje časť pohybového príkazu v riadiacom programe robota, ktorý definuje veľkosť obchádzania naprogramovaného bodu. Tento parameter môže nadobúdať hodnoty od 0 po 100. Pričom CNT100 predstavuje najväčšie obchádzanie a naopak pri definovaní pohybového príkazu s CNT0, TCP bod robota bude zastavovať v jednotlivých bodoch. V prvej sérii piatich opakovaných meraní na troch rozličných pozíciách bola hodnota CNT nastavená na 100.

Boli vykonané tri merania pri hodnotách CNT100, CNT50 a CNT10, pričom hodnota parametra rýchlosti bola vo všetkých troch meraniach rovnaká (4000mm/s). Zníženie hodnoty CNT sa prejavila dvoma spôsobmi. Prvou je dĺžka merania, resp. čas potrebný na vykonanie dvoch kruhových dráh jedným smerom. Čím bola hodnota CNT nižšia, tým bol čas potrebný na vykonanie kruhovej dráhy jedným smerom dlhší. Pri CNT100 to bolo 17 sekúnd, pri CNT50 100 a pri CNT10 trvalo opísanie dráhy v jednom smere 226 sekúnd.

Zmena hodnoty CNT sa ďalej prejavila na vibráciách koncového člena robota počas vykonávania kruhovej dráhy. A to v zmysle že čím je hodnota CNT menšia, tým sú vibrácie väčšie. Vibrácie sme hodnotili subjektívne, pri CNT

dva riadiace programy pre robota Fanuc. Jeden pre pohyb v smere hodinových ručičiek, druhý pre opačný smer. Oba tieto programy spolu s programom pre nastavenie magnetického stojančeka, boli spúšťané v automatickom režime pomocou vzdialeného riadenia. Ten sa v praxi využíva pre spúšťanie automatického cyklu robota. Tým je nielen zautomatizovaný celý proces merania, ale zároveň sú laboratórne testy približne reálnym podmienka vo výrobe. Vďaka tomu sme schopní s veľkou presnosťou určiť celkovú dobu potrebnú pre realizáciu merania – 3 minúty. Ide o veľmi krátku dobu, ktorá zásadným spôsobom neovplyvní výrobný proces priemyselného robota. Naopak pravidelným vykonávaním testov, je dlhodobé sledovaný stav robota. Pri dostatočnom množstve zozbieraných dát, je možné predvídať zmenu sledovaných charakteristík priemyselného robota a tým plánovať jeho údržbu. Tá môže spočívať vo vykonaní kalibrácie riadených osí robota, podrobnejších meraní ďalších parametrov inými metódami (napr. meranie vôle jednotlivých kĺbov), alebo v ďalších servisných zásahoch.

Samotnému meraniu predchádzal zábeh priemyselného robota, trvajúci tri hodiny a pozostávajúci z vykonávania kruhových dráh

100 neboli pozorované a vykonávaná dráha bola plynulá, avšak pri hodnote CNT10 bolo možné pozorovať značné vibrácie na koncovom člene robota. Tento jav je podľa nášho názoru spôsobený tým, že čím je obchádzanie bodu menšie tým sa TCP bod robota dostáva bližšie k naprogramovanému bodu a tým pádom musí znižovať rýchlosť a opätovne sa rozbiehať. Pri takto veľkom počte bodov, ktoré boli použité je frekvencia zmeny rýchlosti veľmi vysoká, čo má za následok rozkmitanie koncového člena robota. K tomuto javu taktiež prispieva samotná konštrukcia robota s otvoreným kinematickým reťazcom.

4 ZÁVER

V tomto článku je prezentované meranie pracovných charakteristík na priemyselnom robote Fanuc LR Mate 200iC s využitím meracieho zariadenia Renishaw Ballbar QC20-W. Bola navrhnutá metóda, založená na výpočte súradníc bodov polygónu, ktorý predstavuje čo najpresnejšiu aproximáciu kružnice, potrebnú pre meranie so zariadením Ballbar.

Renishaw Ballbar je obľúbené meracie zariadenie na meranie pracovných charakteristík CNC obrábacích strojov pre jednoduché a veľmi rýchle meranie. Navrhnutá meracia metóda umožňuje túto jednoduchosť a rýchlosť merania aplikovať aj pre meranie na priemyselných robotoch. Zároveň prispôbením riadiacich programov celého cyklu merania, pre automatický režim priemyselného robota, sme demonštrovali dĺžku času potrebnú pre prerušenie pracovného cyklu robota v podmienkach výroby. Časový úsek 3 minúty predstavuje zanedbateľné zdržanie v procese výroby, ktoré môže na druhej strane priniesť finančné úspory z hľadiska údržby priemyselného robota. Pretože pravidelným vykonávaním testov je dlhodobý sledovaný stav robota. Pri dostatočnom množstve zozbieraných dát, je možné predvídať zmenu sledovaných charakteristík priemyselného robota a tým plánovať jeho údržbu. Tým je možné predísť zásadnej poruche robota, alebo vzniku nepodarkov z dôvodu zhoršenia pracovných charakteristík.

Ako bolo v úvode naznačené, z dôvodu vysokej presnosti a obmedzeného meracieho

rozsahu ktorý dovoľuje Ballbar nemusí byť možné týmto zariadením odmerať charakteristiky priemyselného robota. V našom prípade sa nevykytli žiadne z týchto problémov. Ak by sme sa počas merania dostali blízko k okraju merateľného rozsahu ktorý dovoľuje Ballbar, bolo by nutné upraviť riadiaci program robota tak, aby bolo možné vykonať meranie. Toto je možné dosiahnuť odčítaním nameraných odchýlok od polomerov jednotlivých naprogramovaných bodov, vhodným spôsobom pre takýto výpočet je dekompozícia nameraného profilu Fourierovou transformáciou a spätná kompozícia profilu prvých 512 zložiek, pričom amplitúda prvej harmonickej zložky by mala byť upravená na nulu, nakoľko táto reprezentuje excentricitu, ktorá je považovaná za chybu merania a je teda vhodná ju vylúčiť.

LITERATÚRA

1. D. Kumičáková, V. Tlach, M. Císar. Testing the performance characteristics of manipulating industrial robots. In *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava: mechanical series*, 2016, vol. 62, no. 1, pp. 39-50
2. V. Johnsrud. Improvement of the Positioning Accuracy of Industrial Robots. Master's Thesis. Institut for produksjons-og kvalitets-teknikk, 2014
3. A. Şirinterlikçi, M. Tiryakioğlu, A. Bird, A. Harris, K. Kweder. Repeatability and Accuracy of an Industrial Robot: Laboratory Experience for a Design of Experiments Course. In *Technology Interface Journal*, 2009, vol. 9, no. 2
4. J. Brethé, D. Lefebvre. Risk ellipsoids and granularity ration for industrial robot. In *International Journal of Factory Automation Robotics and Soft computing*, 2007, Vol. 2, pp. 93-101
5. M. Slamani, A. Nubiola, I. A. Bonev. Assessment of the positioning performance of an industrial robot. In *Industrial Robot: An International Journal*, 2012, vol. 39, pp. 57-68
6. M. Slamani, I. A. Bonev. Characterization and experimental evaluation of gear transmission errors in an industrial robot. In *Industrial Robot: An International Journal*, 2013, vol 40, pp. 441-449
7. A. Nubiola, I. A. Bonev. Absolute calibration of an ABB IRB 1600 robot using a laser tracker. In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2013 vol. 29(1), pp. 236-245
8. W. S. Newman, C. E. Birkhimer, R. J. Horn- ing, A. T. Wilkey. Calibration of a Motoman P8 robot based on laser tracking. In *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on*. 2000, vol. 4, pp. 3597-3602
9. J. Józwik, D. Ostrowski, P. Jarosz, D. Mika. Industrial robot repeatability testing with high speed camera Phantom v2511. In *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2016, vol 10, pp. 86-96
10. A. Nubiola, M. Slamani, I. A. Bonev. A new method for measuring a large set of poses with a single telescoping ballbar. In *Precision Engineering*, 2013, vol. 37, pp. 451-460
11. M. Slamani, A. Nubiola, I. A. Bonev. Effect of servo systems on the contouring errors in industrial robots. In *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 2012, vol. 36, pp. 83-96
12. A. Nubiola, I. A. Bonev. Absolute robot calibration with a single telescoping ballbar. In *Precision Engineering*, 2014, vol. 38, pp. 472-480
13. QC20-W wireless ballbar system description and specifications. (2013) [online] Available on Internet: <http://www.renishaw.com/media/pdf/en/bc37e3f-237284417baa57889d207cf97.pdf>
14. V. Tlach, Design of workplace for testing the performance characteristics of industrial robot Fanuc LR Mate 200iC. Diploma thesis. University of Žilina, 2016

Autori:

Ing. Vladimír Tlach
Ing. Miroslav Císar, PhD.
prof. Dr. Ing. Ivan Kuric
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra automatizácie a výrobných systémov
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko
Tel.: +421 41 513 2801
e-mail: vladimir.tlach@fstroj.uniza.sk
e-mail: miroslav.cisar@fstroj.uniza.sk
e-mail: ivan.kuric@fstroj.uniza.sk

INOVAČNÉ METÓDY TVORBY NC PROGRAMOV V CAD/CAM SYSTÉME EDGE CAM 2016

TOMÁŠ DODOK
NADEŽDA ČUBOŇOVÁ
MIROSLAV CÍŠAR

ÚVOD

Nevyhnutnou podmienkou pre zvyšovanie efektivity výroby je optimalizácia výrobného procesu. Optimalizácia výrobného procesu predstavuje zložitý proces realizovaný vo viacerých etapách a využíva viaceré metódy. Z pohľadu obrábacieho procesu je možné optimalizovať výber polotovaru, strojov, nástrojov, operácií, technologických podmienok, dráh nástrojov a pod.

Okrem možnosti optimalizovať výrobný proces existujú aj možnosti optimalizovať procesy v rámci predvýrobných etáp. Jednou z týchto možností je optimalizácia tvorby NC programu respektíve procesu tvorby obrábacie-

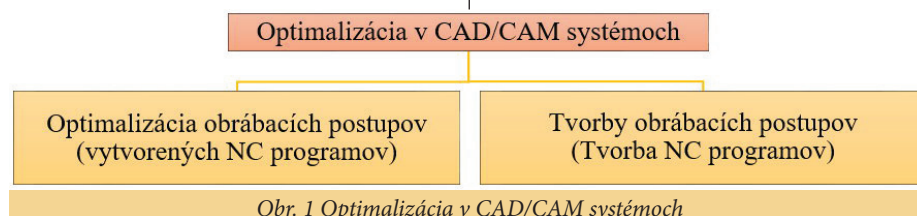
ho postupu v CAD/CAM systéme, tak aby bolo možné odstrániť opakujúce sa úkony vykonávané programátorom pri zostavovaní nových obrábacích procesov. Preto niektoré CAD/CAM systémy umožňujú vytvárať NC stratégie, ktoré je možné použiť pre optimalizáciu tvorby obrábacích postupov.

OPTIMALIZÁCIA V CAD/CAM SYSTÉMOCH

Optimalizácia obrábania prestrahuje zložitý proces, ktorý je nevyhnutnou podmienkou

kvalitného riešenia technologického postupu v CAD/CAM systémoch. Úlohou je optimalizovať obrábací proces počas tvorby NC programov alebo optimalizovať vytvorené NC programy. Optimalizáciu je možné rozdeliť do dvoch skupín podľa obr. 1 [1].

Prvú skupinu tvorí optimalizácia zameraná na vytvorené (vygenerované) NC programy. Táto optimalizácia býva podporovaná priamo v CAD/CAM systémoch alebo mimo nich, pomocou samostatných softvérových programov.



Obr. 1 Optimalizácia v CAD/CAM systémoch

Súčasný CAD/CAM systémy umožňujú optimalizovať obrábací proces podľa viacerých kritérií:

- Optimalizácia vychádzajúca z polotovaru
- Optimalizácia s ohľadom na tvar, rozmery nástroja a upínača
- Optimalizácia z pohľadu zvyškového materiálu
- Optimalizácia s využitím Spline interpolácie

Optimalizácia procesu obrábania sa vzťahuje hlavne na tri základné rezné podmienky (z pohľadu optimalizovaného parametra)

- rezná rýchlosť (vc),
- posuv (f),
- hĺbka rezu (ap).

Druhú skupinu tvorí optimalizácia tvorby obrábacích postupov počas tvorby NC programov. Jej hlavnou úlohou je skracovanie času potrebného na zostavenie obrábacieho procesu v CAD/CAM systémoch a odstránenie opakujúcich sa krokov. Tento spôsob optimalizácie využíva rozpoznávanie tvarov na súčiastke (Feature Based Machining) a vytváranie NC stratégií na ich obrábanie.

FEATURE BASED MACHINING

Feature Based Machining metóda (skrátene FBM), ktorú je možné chápať ako automatizovanú prípravu programov na základe rozpoznaných tvarov z konštrukčného modelu. Tvary (features) (Obr. 2) sú štandardizované charakteristiky tvaru, ktoré majú význam pre konštruovanie a výrobu. Umožňujú jednoznačne, kompletne a jednotne opísať geometriu, topológiu a funkčné informácie (tolerancie, drsnosť povrchu atď.).

Princíp FBM metódy spočíva v rozpoznaní prvkov na modeli súčiastky ako sú diery, dutiny, drážky, alebo aj iné tvary, otvorené či uzavreté oblasti. Zároveň je možné ku každému vybranému geometrickému prvku priradiť vhodný spôsob obrábania. Príkladom môže byť súčiastka s dvoma typmi dier. Systém rozpozná tieto dva typy dier a použije na ich obrábanie predefinované stratégie obrábania. Stratégie sú definované v databáze, ktoré obsahujú pravidlá a podmienky pre voľbu vhodného nástroja.[3]

MOŽNOSTI TVORBY NC STRATÉGIÍ V CAD/CAM SYSTÉMOCH

V súčasnosti existuje niekoľko CAD/CAM systémov, ktoré umožňujú rozpoznávať tvary na súčiastke a rovnako aj vytvárať nové NC

stratégie na ich obrábanie. Každý CAD/CAM systém využíva na tvorbu NC stratégií iný modul z čoho vyplýva, že aj tvorba NC stratégií je v každom systéme iná. V ďalších podkapitolách sú spracované možnosti tvorby NC stratégií v CAD/CAM systéme Edgcam 2016, Mastercam 2017 a PLM systéme Siemens NX 10.

Edgcam využíva na tvorbu a úpravu NC stratégií modul **Manažér Stratégií**. Manažér stratégie je spolupracujúci modul, ktorý umožňuje vytvárať nové a tiež aj uparovať staršie NC stratégie. Pracovné prostredie sa delí na štyri hlavné časti:

- a) Dáta** - umožňuje vkladať informácie do NC stratégie. Tieto informácie predstavujú vstup pre tvorbu podmienok, napríklad pri definovaní typu, rozmeru nástroja. Dáta sa delia na sedem skupín, podľa toho k čomu sa dané informácie vzťahujú.
- b) Procesy** - definuje procesy, ktoré bude NC stratégia vykonávať, obrábacie postupy (hrubovanie - dokončovanie), príkazy pre aktualizáciu polotovaru.
- c) Vlastnosti** - využívajú sa pri definovaní podmienok. Napríklad pri definícii tvaru, pre ktorý bude NC stratégia použitá.
- d) Grafická časť** - umožňuje vytvárať algoritmus NC stratégie (Obr. 3). Algoritmus má formu rozhodovacieho diagramu. Jednotlivé časti diagramu (bloky) sú navzájom prepojené a každá vetva NC stratégie musí byť ukončená.

PLM systém NX 10 disponuje modulom **Machining Knowledge Editor (MKE)** na tvorbu a úpravu NC stratégií. Práca v tomto module vyžaduje znalosti programovacieho jazyka Visual Basic, prípadne jazyka TCL pri zmene systémových funkcií. Každá NC stratégia má šesť základných podmienok definujúcich:

- a) výstupný tvar,
- b) vstupný tvar,
- c) názov stratégie,
- d) druh operácie,
- e) prioritu stratégie,
- f) typ nástroja.

Po určení základných podmienok je potrebné určiť ďalšie podmienky a premenné. Najvýznamnejšia časť pri definícii pravidiel je vykonávaná v karte *Podmienky* (Conditions), kde je potrebné vytvoriť podmienky pre využitie vytváranej NC stratégie. Nasledujúce karty slúžia k doplneniu a sprehľadneniu pravidiel. Karty *Materiál* a *Stroj* slúžia na definovanie stroja a materiálu. Karta *Vysvetlenie* slúži k vysvetleniu

ČASOPIS ÚDRŽBA

ÚDRŽBA časopis pracovníkov údržby
Šéfredaktor: doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.
Zástupca šéfredaktora:
doc. Ing. Vladimír Stuchlý, PhD.

Redakčná rada:

Ing. Michal Abrahámfy
Ing. Dušan Belko
Ing. Gabriel Dravecký, PhD.
Ing. Katarína Grandová
Ing. Peter Herman
Ing. Vendelín Iro
prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.
Ing. Marko Rentka
prof. Ing. Peter Zvolenský, PhD.
Ing. Michal Žilka

Adresa redakcie:

K DMT Sjf Žilinská univerzita,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina

Inzertné oddelenie:

K DMT Sjf Žilinská univerzita,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina

Tel. ústredňa s automatickou predvoľbou:

041 513 2551, fax: 041 565 2940

Internet: <http://www.udrzba.sk>

e-mail: ssu.kocelova@mail.t-com.sk

REDAKCIA:

Pracovníci redakcie:

doc. Ing. Vladimír Stuchlý, PhD.
doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.
Ing. Roman Poprocký

Vedúci čísla: doc. Ing. Vladimír Stuchlý, PhD.

Vydáva: SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ
ÚDRŽBY, 4 x za rok

Projekt: Katedra obnovy strojov a zariadení ©

Tlač: MIRA Foto & Design Studio,
Dolné Naštice

Registrácia MK SR

Registračné číslo: EV 1196/08

Tematická skupina: B 6

Dátum registrácie: 9. 5. 2001

pre inzerujúcich do časopisu ÚDRŽBA:

titulná strana: 330 €
ďalšie strany obálky: 200 €
inzercia resp.
reklamný článok v časopise: 166 €

Linky:

<http://www.udrzba.sk/>

<http://www.nafta.sk/>

Strojnícka fakulta Žilinská univerzita

<http://fstroj.uniza.sk/>

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky

<http://fstroj.uniza.sk/kdmt/>

Maintenance.sk

<http://www.maintenance.sk>

Vzdelávanie „Manažér údržby“

<http://www.is-udrzby.sk:70/vzdelavanie1>

SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY

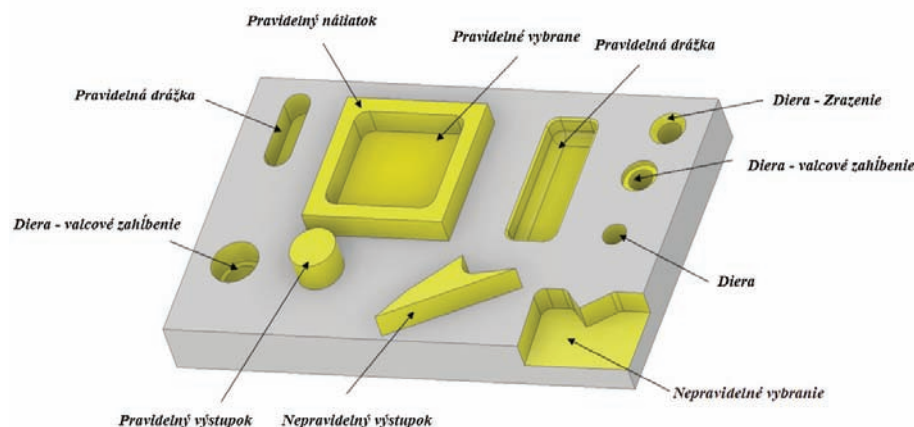
Kocelová 15,

815 94 Bratislava

Tel./fax: (+421) 02 55410343

mobil: (+421) 0905 234433

e-mail: ssu.kocelova@mail.t-com.sk



Obr. 2. Prvky na súčiastke

k vysvetleniu daného pravidla a do karty *Obrázky* je možné vložiť doplnujúce obrázky. V karte *Dodatky* sú vkladané doplnujúce parametre podmienok.

Mastercam 2017 patrí v súčasnosti k najviac používaným CAD/CAM systémom (CIMdata 2016). Disponuje dvojicou modulov pre tvorbu NC stratégie, ktoré podporujú tvorbu pre frézovanie FMB Mill a vŕtanie dier FBM Drill. NC stratégia je vytváraná postupným zadávaním a voľbou požadovaných cyklov a parametrov pričom nie je potrebné ovládať žiaden programovací jazyk alebo vytvárať algoritmus NC stratégie.

Vstupné informácie pre NC stratégie možno rozdeliť na tri základné skupiny:

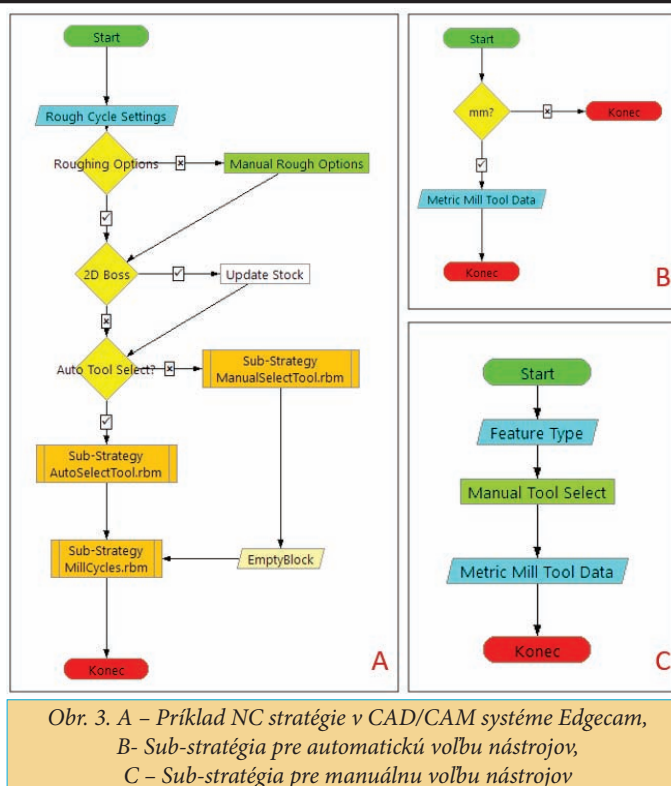
- Geometrické informácie** - informácie definujúce tvar a jeho vlastnosti. Geometrické informácie o tvare sú využívané pri návrhu podmienok potrebných pre tvorbu algoritmu NC stratégie. Môže ísť o informácie ako sú rozmery vybraného, polomer zaoblenia rohov, hĺbka vybraného alebo tolerancie.
- Technologické informácie** - definujú technológiu obrábania na základe rozpoznaného tvaru (vŕtanie alebo frézovanie), typ operácie (napr. hrubovací, dokončovacia, cyklus), informácie o voľbe nástroja a podmienky pre voľbu optimálnych rezných parametrov.
- Dodatočné informácie** - príkaz na aktualizáciu polotovaru, alebo príkaz na výmenu nástroj.

TVORBA EXPERIMENTÁLNYCH NC STRATÉGII V SYSTÉME EDGE CAM 2016

Tvorba NC stratégií (Obr. 3) v module Manažér stratégií pozostáva z niekoľkých krokov. Pred samotnou tvorbou NC stratégie je vhodné vytvoriť obrábací cyklus pre zvolený tvar. Vytvorený cyklus musí obsahovať informácie o nástrojoch, rezných podmienkach, prípadne doplnkové informácie ako príkaz pre výmenu alebo aktualizáciu polotovaru. [2,4] Postup tvorby novej NC stratégie pre obrábanie zvoleného typu tvaru je nasledovný:

- Definícia geometrického tvaru** - ako prvé je potrebné definovať pre aký typ tvaru bude daná NC stratégia využívaná, napr. vybrané alebo rovinná plocha (Obr. 2)
- Definícia obrábacieho cyklu** - po zadaní tvaru je potrebné vložiť do NC stratégie obrábací proces a určiť podmienky napr. pre voľbu nástroja. Taktiež je možné vložiť ďalší cyklus.
- Tvorba algoritmu NC stratégie** - vytvorenie algoritmu NC stratégie pomocou vývojového diagramu. Určiť ich vzájomné vzťahy napr. v prípade rozhodovacieho bloku učiť podmienky a ich dôsledky.
- Vloženie príkazov** - pre výmenu nástrojov a aktualizáciu polotovaru.
- Ukončenie NC stratégie** - všetky vetvy algoritmu musia byť ukončené.

Na obr. 3 sú uvedené experimentálne NC stratégie. Obr. 3 A obsahuje príklad NC stratégie použiteľnej pre hrubovacie operácie. Na obrázku 3 B a C sú zobrazené sub-stratégie



Obr. 3. A – Príklad NC stratégie v CAD/CAM systéme Edgecam, B- Sub-stratégia pre automatickú voľbu nástrojov, C – Sub-stratégia pre manuálnu voľbu nástrojov

(jednoduchá stratégia využívaná v rámci komplexnejšej stratégie, rovnako môže byť využitá vo viacerých stratégiách) pre manuálny výber nástrojov a automatický výber nástrojov.

Využitie nových NC stratégií v procese tvorby obrábacieho postupu umožňuje:

- Efektívnu tvorbu obrábacích postupov** - hlavný význam NC stratégie spočíva v možnosti odstránenia opakujúcich sa krokov pri tvorbe obrábacích postupov. Medzi opakujúce sa kroky môžeme zaradiť voľby cyklov na zarovnanie čela, obrábanie vybraní, vŕtanie dier a podobne.
- Optimalizáciu tvorby obrábacích postupov** - z hľadiska zníženia času potrebného na prípravu NC programu - obr. 4.
- Uchovanie znalosti technologa** - NC stratégia je možné vytvárať z existujúcich obrábacích postupov súčiastok alebo pre konkrétne typy tvarovo podobných súčiastok.

ZÁVER

- Nasadenie nových NC stratégií vytvorených technologom na základe konkrétnych požiadaviek z praxe umožní zefektívniť a optimalizovať proces tvorby NC programov.
- Možnosť vytvárania stratégií NC v CAD / CAM systéme Edgecam umožňuje vidieť dve hlavné výhody. Prvou výhodou je možnosť uchovávaného poznatkov a skúseností technologov, druhou je skrátenie času potrebného na vytvorenie NC programu.
- K výhodám vytvárania NC stratégií patrí okrem rýchlosti tvorby NC programu aj univerzálnosť ich použitia. Stratégie môžu byť použité pre rôzne typy komponentov na základe podobnosti geometrických tvarov. Tiež je možné vytvoriť komplexné NC stratégie pre konkrétne komponenty. Tento typ stratégie obsahuje obrábacie cykly zložené z niekoľko typov funkcií.
- Aplikácia NC stratégií umožňuje skrátiť čas na prípravu obrábacích procesov v CAD / CAM systéme Edgecam 2016. Zníženie

času závisí od zložitosti vyrábaných komponentov. Čas potrebný na zostavenie NC programu je možné zredukovať o 35% implementáciou vytvorených NC stratégií.

REFERENCIE

- Čuboňová, N.: Genetic algorithms implemented for optimization of technological processes. In: Chosen applications of computer modelling in mechanical engineering. - London: Pearson Education Limited, 2015. ISBN 978-1-78447-830-8. pp. 157-181.
- Dodok, T. - Čuboňová, N. - Rudawska, A.: Creation of strategies by use of Edgecam Strategy Manager. In: Strojnírenská technologie: časopis pro vědu, výzkum a výrobu. Roč. 21, č. 1 (2016), ISSN 1211-4162.
- Dodok, T. - Čuboňová, N. - Rudawska, A.: Analysis of shapes for the development of algorithms for strategies of machining process in the CAM system. In: Computing and Solutions in Manufacturing Engineering 3-4 November 2016, Braşov, Romania
- Krajčovic M. - Bulej V. - Sapietova, A. - Kuric I.: Intelligent manufacturing systems in concept of digital factory. Komunikácie, 15(2), 2013, 77-87



Obr. 4. Porovnanie času potrebného na vytvorenie NC programu



Autori:

Ing. Tomáš Dodok
prof. Ing. Nadežda Čuboňová, PhD.
Ing. Miroslav Císar, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra automatizácie a výrobných systémov
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko
Tel.: +421 41 513 2801
e-mail: tomas.dodok@fstroj.uniza.sk
e-mail: nadezda.cubonova@fstroj.uniza.sk
e-mail: miroslav.cisar@fstroj.uniza.sk