

Adaptronika in dinamika pralnega stroja

V želji po trajnostnem razvoju si v industrijskih podjetjih prizadevajo dosežati zelo lahke konstrukcije proizvoda s kar najmanjšim vplivom na okolje. Dober primer so pralni stroji, pri katerih je obvladovanje vibracij in hrupa kot stranski in neželeni učinek zelo pomembna naloga pri razvoju konkurenčnega proizvoda. Zato se tudi v industriji bele tehnike uporabljajo dognanja s področja adaptronike in adaptronskih sistemov, ki so sicer večinoma domena avtomobilske in letalske industrije. Prispevek prikazuje praktičen primer uporabe magnetnoreoloških dušilcev za analizo in razvoj dinamike pralnega stroja pri doseganju želenih funkcionalnih lastnosti. V dinamiki sistemov je tak tehnični sistem dušenja poznan kot sistem delno aktivnega ali adaptivnega obvladovanja (kontrole) vibracij. Opisane so tudi možnosti uporabnosti adaptronskih sistemov pri drugih elementih in komponentah pralnega stroja.

Mag. Vasilije VASIČ,
izr. prof. dr. Mihailo LAZAREVIĆ
Milan LAZAREVIĆ

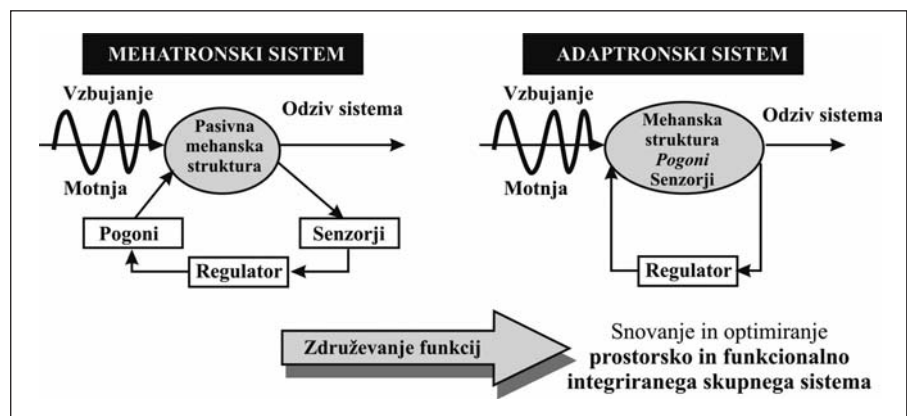
Uvod

Prvine trajnostnega razvoja industrijskih proizvodov zahtevajo, da je njihova konstrukcija lahka (manj materiala), enostavna za montažo in demontažo ter da čim manj vpliva na okolje (npr. hrup, vibracije, reciklaža). Vendar pa ima uvajanje znatno lažjih konstrukcij po trenutnih konstrukcijskih pravilih svoje pomanjkljivosti pri varnosti, funkcionalnosti in zanesljivosti delovanja proizvoda ter je v nasprotju z zahtevami za zmanjšanje emisij hrupa ali vibracij.

Znano je, da lahke konstrukcije lažje vibrirajo, zato oddajajo več hrupa. To sicer lahko odpravimo z dodajanjem mase konstrukciji, vendar je to v nasprotju z željo po lažji konstrukciji (manj porabljenega materiala).

V industriji bele tehnike je obvladovanje vibracij in hrupa zelo pomembno pri pralnih strojih. Tržno primerljiv opis tehnične funkcionalnosti pralnega stroja na energijski nalepki navaja tudi stopnjo hrupnosti (poleg osnovne funkcionalnosti – energijskega učinka pranja). Trenutne tehnične smernice narekujejo zamenjavo dosedanjih kovinskih materialov s polimernimi (npr. pralna kad), pločevina ohišja pralnega stroja pa naj bi bila vse tanjša. Zato je naloga obvladovanja vibracij (stabilnosti) in hrupa pralnega stroja (manjše vibracije) pri nespremenljivih termomehanskih pogojih toliko bolj zahtevna.

Sodobne pralne stroje lahko uvrščamo med mehatronske proizvode, saj imajo vse potrebne značilnosti mehatronskega sistema – elektroniko, programsko opremo,



Slika 1: Nadgradnja mehatronskih sistemov v adaptronske sisteme

senzorje/aktuatorje (pogoni) in mehanski sistem. Doseganje stabilnosti pralnega stroja in obvladovanje dinamike (pasivnega) mehanskega sistema sta mogoča samo z ostalimi nemehanskimi komponentami (npr. senzorji, aktuatorji, regulatorji) [1].

Za snovalce pralnih strojev, pa tudi za inženirje v avtomobilski in letalski (vesoljski) industriji je pomemben cilj združevanje funkcij sensorja, regulatorja in aktuatorja z namenom doseganja hitrega adaptivnega odziva sistema na vzbujanje (motnjo sistema). Taki adaptivni oziroma adaptronski ali pametni sistemi bi se tako bolj prilagodeno odzvali na motnjo in hkrati zmanjšali število komponent sistema oziroma celotno težo proizvoda (Slika 1) [2],[3].

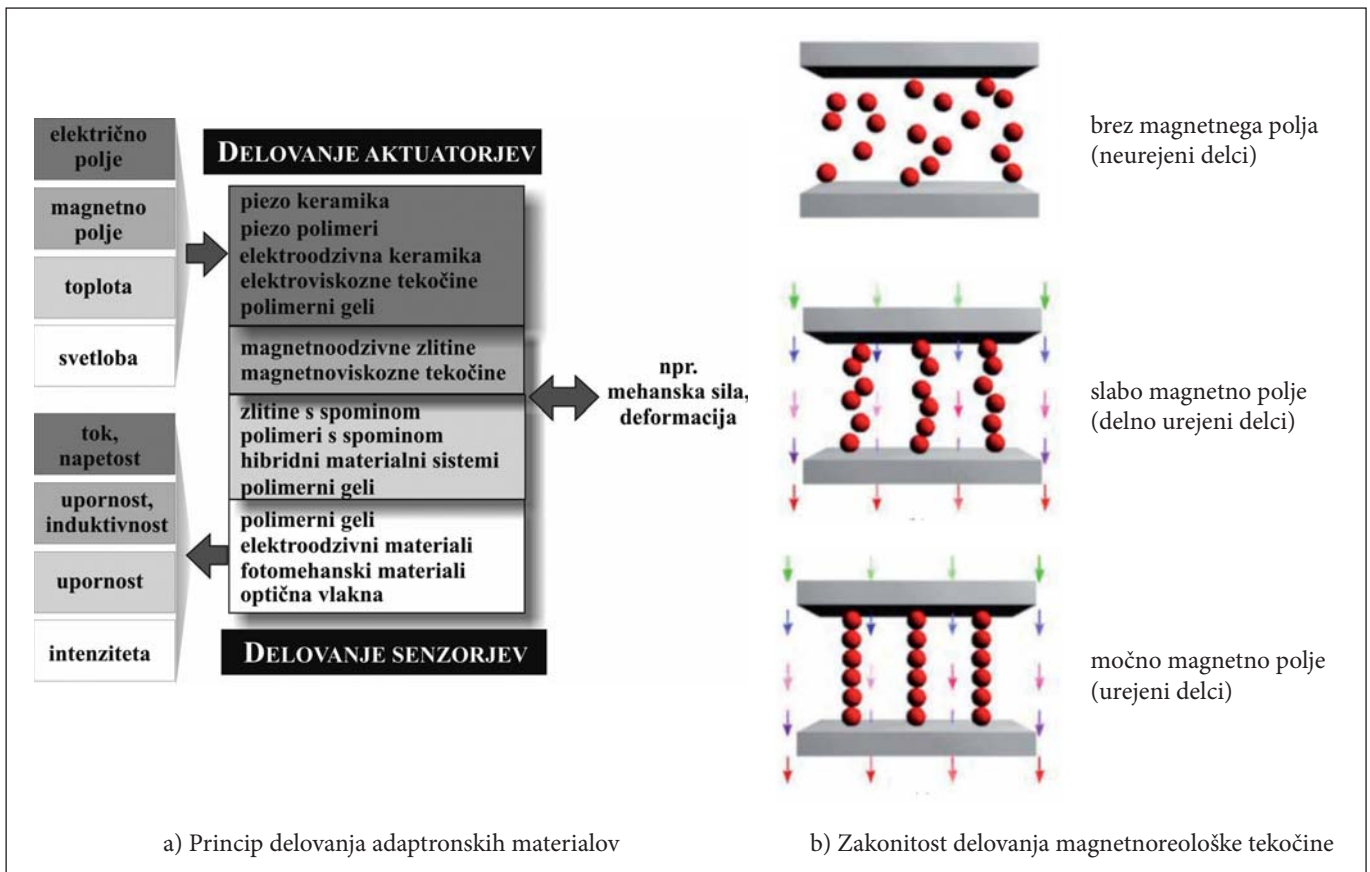
Adaptronika in princip delovanja magnetnoreoloških dušilcev

Adaptronika ali adaptronski sistemi so razmeroma novo tehnično področje, ki ga poznamo tudi pod nazivom inteligentni

ali pametni materiali oziroma inteligentni ali pametni sistemi. Termin adaptronika ali adaptronski sistemi je pogostejši v nemškem govornem območju, kjer so ga uvedli v nemškem inženirskem združenju na začetku devetdesetih let (VDI Technologiezentrum) [4].

V primerjavi s konvencionalnimi sistemi regulacij, kjer je vsak funkcionalen element ločen, je za adaptroniko značilna večfunkcijskost. To pomeni, da je več funkcionalnih elementov združenih v eno komponento (t. i. *self-sensing actuator*), integrirano v strukturo (konstrukcijo) ali sistem. Tako se dosega enostavnejša in lažja konstrukcija (adaptivnega sistema). Končni cilj je seveda zmanjšanje potrebne količine materiala za izdelavo proizvoda in potrebne (minimalne) energije za delovanje celotnega (adaptronskega) sistema.

Pri adaptronskem pristopu k snovanju proizvodov so se inženirji zgedovali po



Slika 2: Adaptivni (pametni) materiali in zakonitost delovanja magnetnoreološke tekočine

bioloških sistemih (t. i. bioniki) – npr. mišice. Iskali so take večfunkcijske materiale, ki bi se obnašali kot mišice oziroma »samoodzivni aktuatorji« (angl. *induced strain actuators*) in bi kot biološki sistemi imeli možnost samostalnega oziroma odziva na motnje v njihovem sistemu. Taki večfunkcijski sistemi so danes že stvarnost, najbolj znani pa so zlitine s spominom (*shape memory alloys*), inteligentni polimeri (*intelligent polymers*) in magnetnoreološke tekočine (*magnetorheological fluids*) ter piezoelektrični senzorji (*piezoelectrical sensors*) – Slika 2a [3],[5].

Na vzbujanje (npr. električno polje, magnetno polje, toplota ali svetloba) se lahko različni adaptivni (inteligentni) materiali odzovejo (npr. z mehansko silo, deformacijo) tako, da senzorjem oddajajo signal (npr. tok/napetost, upornost/

induktivnost, upornost, intenziteta) – Slika 2a. Njihova uporaba je najpogostejša za obvladovanje hrupa in vibracij v končnih proizvodih (npr. v avtomobilski industriji) [5]. Tudi v industriji bele tehnike (pralni stroji) se obvladovanju hrupa in vibracij namenja precej pozornosti, tako da za to uporabljajo adaptivne oziroma adaptivne dušilce z magnetnoreološko tekočino (t. i. *magneto rheological dampers*) [6].

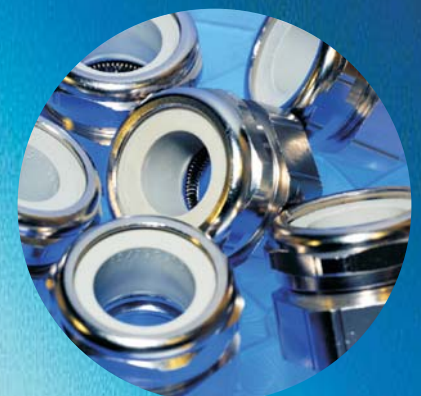
Magnetnoreološka tekočina je »kontrolirana« tekočina (Slika 2b) [7], ker so reološke lastnosti (npr. viskoznost) odvisne od moči prisotnega magnetnega polja. Tekočina je sestavljena iz osnovne (nosilne) tekočine (silikonsko ali sintetično olje) in feromagnetnih delcev (20–50 μm premera). Brez magnetnega polja ima taka tekočina lastnosti linearne viskoznosti, v

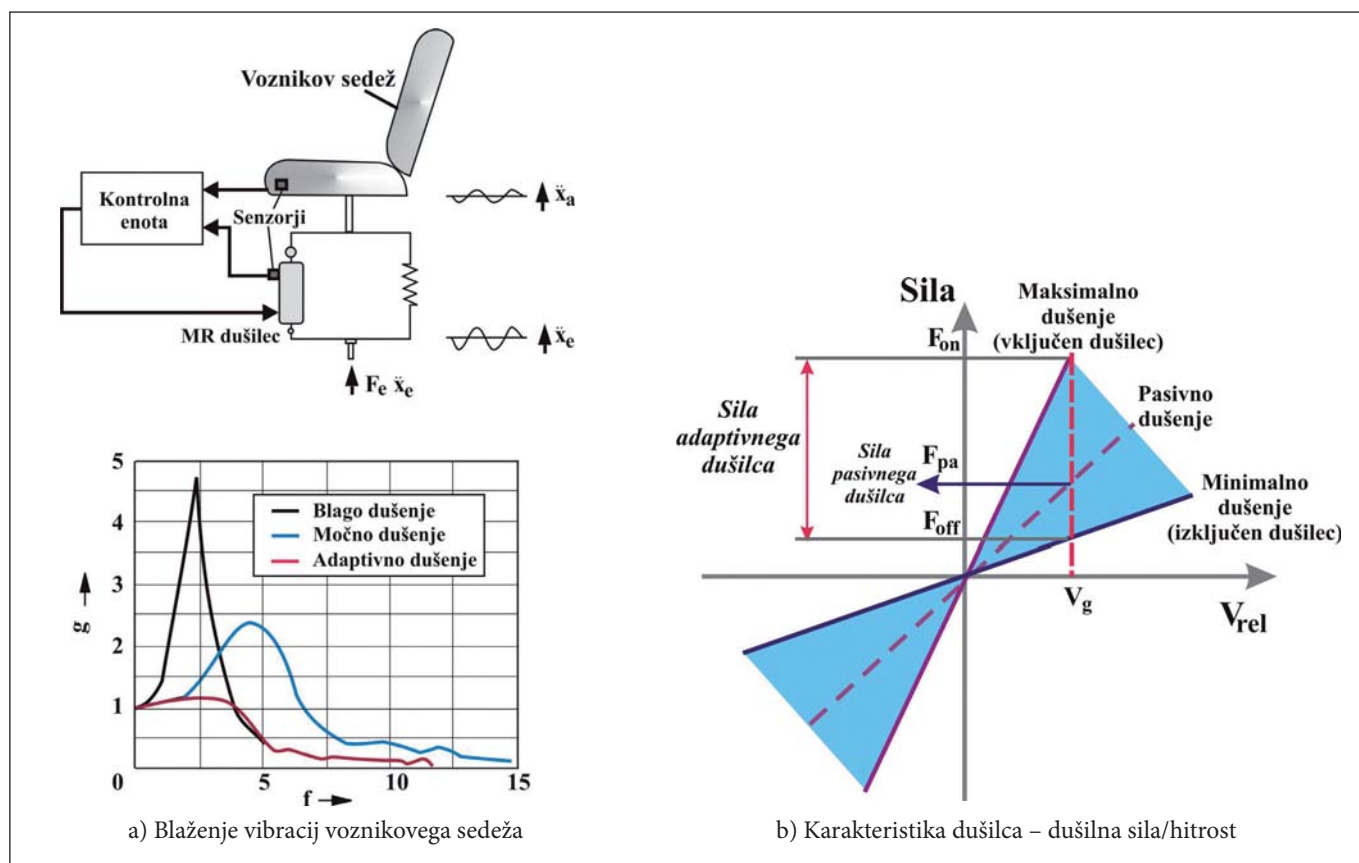
magnetnem polju pa se delci organizirajo vzdolž silnic magnetnega polja v obliki verig delcev. Take verige ovirajo tok osnovne tekočine, tako da se suspenzija solidificira. Tako se lahko uravnavajo dušilne lastnosti dušilca – glede na pasivno (osnovno) stanje dosežemo tudi do 10-krat večje dušilne lastnosti. Omenjena sprememba stanja (lastnosti) magnetnoreološke tekočine se lahko doseže v zelo kratkem času – v nekaj milisekundah, kar daje veliko uporabno vrednost za obvladovanje dušenja dinamičnih sistemov v realnem času (npr. dušilci vibracij sedežev (Slika 3a)[8], dušilci avtomobilov ali motorjev in celo za protipotresne podpore v gradbeništvu). Kljub temu da je bila iznajdba in fizikalna razlaga tega fizikalnega pojava znana že leta 1940, so se aplikacije razvile šele v zadnjih 15 letih.



Visokokakovostne EMC-kabelske uvodnice

- > Metrični ali PG navoj
- > Po vseh normah in standardih
- > Materiali: medenina, nerjavno jeklo, plastika





Slika 3: Aplikacija adaptivnega dušilca in primerjava karakteristik dušilcev

Iz prikazanega primera (voznikov sedež) je razvidno, da lahko z adaptivnim dušenjem dosegamo nekajkrat manjše amplitude vibracij na sedežu (\ddot{x}_a) glede na vnesene vibracije vozišča oziroma podvozja (\ddot{x}_e).

Glede na prejete signale iz senzorjev v sedežu in na podvozju (Slika 3a) se s kontrolno enoto parametrično prilagajajo dušilne lastnosti magnetnoreološkega dušilca. V primerjavi s pasivnim dušilec s fiksno dušilno lastnostjo imajo adaptivni dušilci dušilni razpon sil, ki je parametrično nastavljen in glede na vzbujanje prilagodljiv (Slika 3b) [7].

Dinamika pralnega stroja in obvladovanje vibracij

V industriji bele tehnike se pri načrtovanju pralnega stroja ukvarjamo s podobnim primerom blaženja, in sicer z blaženjem amplitud vibracij s pralne kadi po vzmeteh in amortizerjih na ohišje pralnega stroja. Na pralno kad je pritrjena večina funkcionalnih elementov (npr. grelec, elektromotor, boben), s katerih se vibracije prenašajo na pralno kad in naprej na ohišje pralnega stroja. To v praksi rešujemo na dva načina – s pasivnim ali adaptivnim dušenjem (angl. *semi-active skyhook vibration control*) – Slika 4a [9] in Slika 5b.



ICAT 2010

3. MEDNARODNA KONFERENCA O DODAJALNIH TEHNOLOGIJAH

22.–24. SEPTEMBER 2010 | HOTEL PERLA, NOVA GORICA

www.icat.rapiman.net

Konferenca je namenjena najnovejšim spoznanjem na področju hitre izdelave prototipov (Rapid Prototyping), orodij (Rapid Tooling) in končnih izdelkov (Rapid Manufacturing). Predavali bodo svetovno priznani strokovnjaki s področja dodajalnih tehnologij, kot so **Terry Wohlers** (Wohlers Associates, ZDA), **Paul Bates** (Reebok, ZDA), **Ed Tackett** (RapidTech, ZDA), **Stephen Rouse** (Walter Reed Army Medical Center, ZDA), **Deon de Beer** (Vaal University of Technology, JAR) in mnogi drugi.

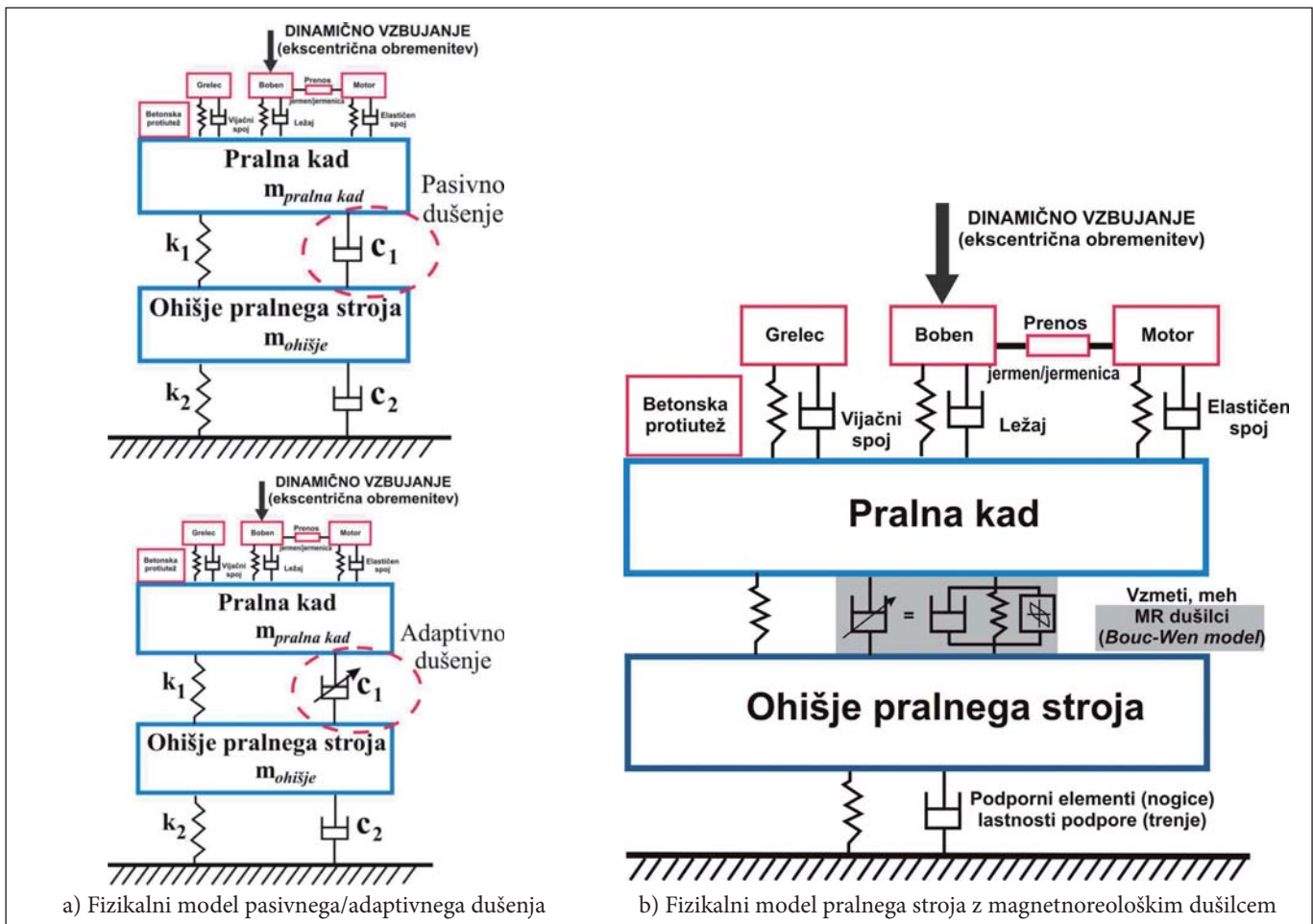


DAAAM Specialized Conference
Danube Adria Association for
Automation & Manufacturing

Poziv za oddajo znanstvenih ali strokovnih člankov.

Poziv za oddajo inovativnih izdelkov narejenih z dodajalnimi tehnologijami.

Poziv za razstavljalce.



Slika 4: Fizikalni model pralnega stroja z različnimi tipoma dušenja

Električni brizgalni stroji za skoraj ničelno stopnjo izmeta

Električni stroji za brizganje plastike prevzemajo vse večji del trga, pa ne le zaradi svoje energetske učinkovitosti. Serija električnih strojev KraussMaffei EX daje odlične rezultate pri proizvodnih nalogah, ki zahtevajo največjo natančnost, ponovljivost in čistočo. Na voljo so različice za predelavo najrazličnejših materialov.

Dober primer je stroj EX, ki od letošnje pomladi obratuje v podjetju Bernhard Kneifel Werkzeugbau GmbH v Bad Aiblingu in brizga tekoča silikonska tesnila LSR na poliamidno osnovo Grivory HT1V s



40 odstotki steklenih vlaken. Končni izdelek je šoba za penjenje mleka v kavnih avtomatih. Orodjarsko podjetje, ki ima v svoji dejavnosti tudi proizvodnjo, je z osvojitvijo izdelave silikonskih tesnil optimiziralo svoje logistične operacije in izboljšalo zbirko dobrih izdelkov.



Triploščna električna zapiralna enota ima edinstven Z-vzdorni sistem. Število premikajočih se delov je bilo namenoma zmanjšano zaradi večje natančnosti, zanesljivosti in manjše obrabe, enoti za plastifikacijo in brizganje pa imata neposreden pogon z motorji visokega navora. Sila dveh povezanih elektromotorjev se prenaša neposredno na polža. ■

www.kraussmaffe.com

V pralne stroje običajno vgrajujejo pasivne dušilce z vnaprej opredeljeno dušilno karakteristiko (npr. sila/hitrost, sila/pot), ki je odvisna od kapacitete pralnega stroja in predvidenih delovnih procesov pralnega stroja (t. i. pralnih programov) (Slika 4a). Dinamično vzbujanje izhaja iz pogona (elektromotorja) in se po jermenskem prenosu prenese na bobno, v katerem je (omročeno) perilo. Proces pranja je naključni proces, pralni stroj pa se opisuje kot nelinearen mehanski sistem. Zato je obvladovanje vibracij pralnega stroja zelo kompleksna naloga.

Dušenje vibracij se izvaja z vzmetmi in amortizerji, saj je naloga vzmeti mehanska podpora in izolacija vibracij pri višjih frekvencah. Za preprečitev morebitno uničujočih premikov pri pospeševanju bobna do končnih obratov centrifuge skozi resonančno področje pralnega stroja se dodajo še pasivni dušilci vibracij (amortizerji). Kljub temu imajo taki pasivni dušilci svoje slabosti, npr. [6]:

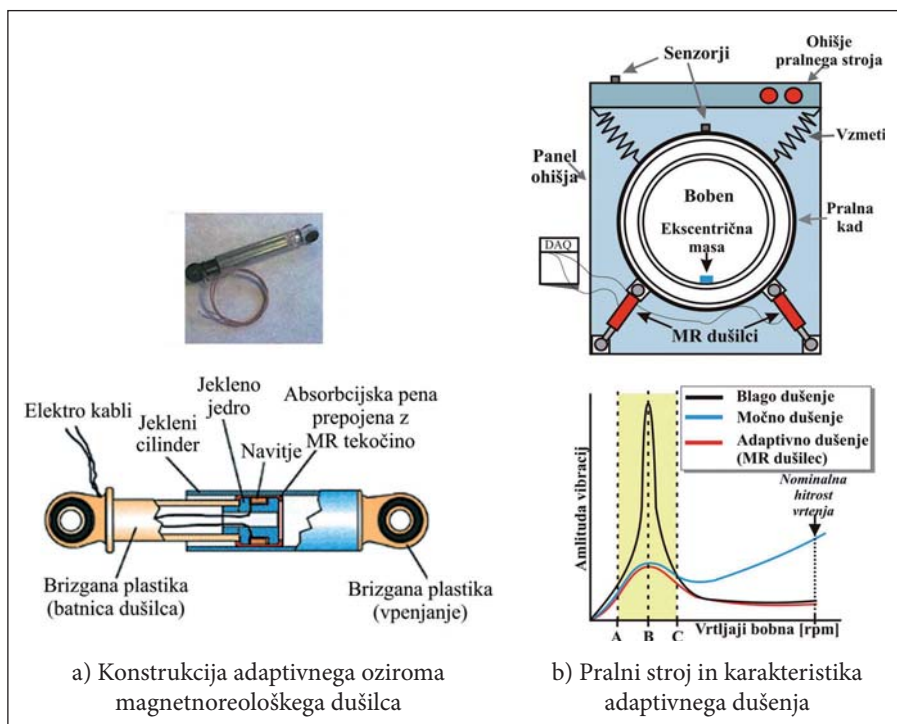
- zmanjšujejo učinek dušenja vibracij pri višjih frekvencah, kar omejuje velikost bobna oziroma pralne kadi in s tem nekoliko tudi ohišja za vgradnjo;

- statično dušenje odzema nekaj energije pogonskemu elektromotorju, ki bi ga sicer uporabil za doseganje maksimalnih obratov centrifuge in s tem učinkovitejše odstranjevanje vlage iz perila (kar pomeni tudi krajše pranje).

Zato so razvili adaptivne dušilce z magnetnoreološko tekočino in enakimi zunanji gabariti, kot jih imajo pasivni dušilci. Njihova posebnost je, da imajo možnost adaptivnega prilagajanja sile dušenja in se pri najvišjih obratih centrifuge izklopijo – Slika 4b [9] in Slika 5 [6].

V primerjavi s hidravličnimi dušilci magnetnoreološki dušilci ne potrebujejo mehanskih ventilov. Namesto njih imajo vgrajena elektromagnetna navitja v cilindrih in rezervoar z magnetnoreološko tekočino. Magnetno polje se generira z elektromagnetnim navitjem med cilindrom in batnico. Velikost dušilne sile, ki se proizvaja v dušilcu, je proporcionalna s površino magnetnoreološke tekočine, izpostavljene magnetnemu polju.

Vsak par takih adaptivnih dušilcev omogoči od 50 do 150 N dušilne sile, ko je dušilec vključen, in manj kot 5 N dušilne sile, ko je dušilec izključen. Poraba energije adaptivnega dušilca je zelo majhna, le približno 10 W za od 5 do 10 sekund delovanja med kritičnimi hitrostmi bobna pri pospeševanju ali pojemanju (Slika 5b in Slika 6) [6]. Energijo dovaja elektronika za krmiljenje, kjer je potreben le nizkocenovni rele, povezan s časom pralnega cikla.



Slika 5: Vgradnja adaptivnega dušilca in karakteristika dušenja

Površinska obraba materiala

Površinska obdelava in karakteristike obdelane površine sodobnih izdelkov so izjemnega pomena tako s stališča proizvajalca kakor tudi končnega uporabnika. Ker je vzrok za poškodbe ali odpoved delovanja strojnih delov večinoma obrabljenost, korozija ali utrujanje materiala, je nastala potreba po sistemskem in interdisciplinarnem pristopu k tej problematiki.

Zato je avtor temu primerno oblikoval tudi vsebino monografije. Na začetku podaja osnovne karakteristike in razdelitev postopkov površinske obdelave s pripombo, da ni univerzalnega postopka površinske obdelave, ampak ima vsak postopek svoje prednosti in pomanjkljivosti v ustreznih pogojih uporabe.

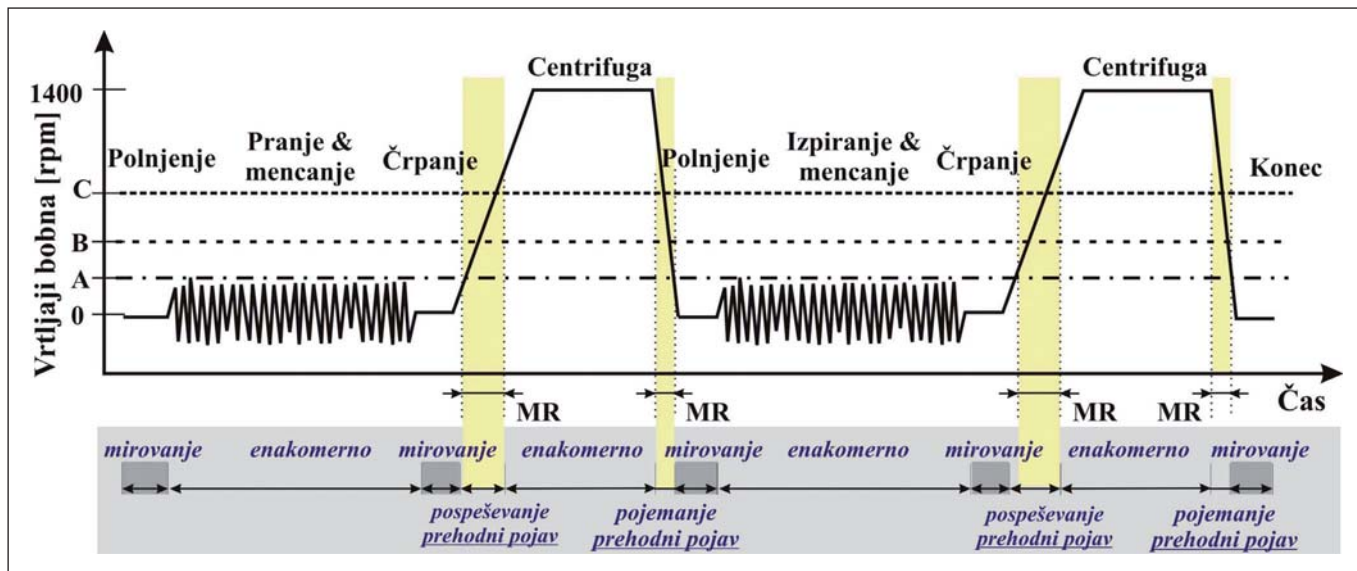
Besedilo bralca najprej seznanja s fizikalno-kemijskimi osnovami za vsak postopek površinske obdelave, nato poda kratek opis tehnike in tehnologije posameznih postopkov, z jasnim poudarkom na lastnostih dobljenih površinskih slojev (plasti) skozi konkretne primere iz prakse, sledijo pa, kar je zelo pomembno za študente tehnike, prednosti in pomanjkljivosti posameznih postopkov.

Knjiga je lahko priročnik z relevantnimi informacijami tudi inženirjem, ki se pri svojem vsakdanjem delu srečujejo s problematiko modificiranja in prevlečenja (prekriivanja) kovinskih materialov. ■

Prof. dr. Mirko Soković
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani



Prof. dr. sc. Mirko Gojić
256 strani, 165 ilustracij in diagramov,
44 tabel
Cena: 200 hrvaških kun



Slika 6: Značilen pralni cikel pralnega stroja in delovanje adaptivnega dušilca

Značilen pralni cikel v pralnem stroju je prikazan na spodnjem diagramu (Slika 6) in nam prikazuje obvladovanje vibracij z adaptivnim dušilcem le pri prehodnih pojavih (pospeševanje/pojemanje) bobna.

Uporabnost predstavljenih adaptivnih dušilcev lahko povzamemo glede na [6]:

UČINKOVITOST

- Pralni stroj dosega boljše učinke z višjimi obrati centrifuge brez večje porabe energije z močnejšimi pogonskimi motorji.
- Energjska učinkovitost je izboljšana, ker je perilo bolj suho.
- Boljša kontrola vibracij omogoča uporabo večjih bobnov in manjših ohišij.
- Pralni stroji lahko stehajo perilo ter s tem kontrolirajo porabo vode in pralnega sredstva.

FUNKCIONALNOST

- Sistem dušenja uporablja obstoječo krmilno elektroniko.
- Ni potrebna dodatna podpora krmiljenju.
- Krmiljenje in regulacija adaptivnih oziroma magnetnoreoloških dušilcev je možna v realnem času.
- Za analizo dinamike pralnega stroja pri nekem procesu dela (program pranja) je možna prilagoditev karakteristike magnetnoreoloških dušilcev, ki je enaka serijskemu (pasivnemu) dušilcu.
- Možnost avtomatizirane in večparametrskane analize stabilnosti pralnega stroja, kjer se prihranijo čas in stroški za menjavo pasivnih amortizerjev med preizkušanjem.
- Aplikativna uvedba sistema nastavljivega dušenja vibracij

STROŠKE

- Nekoliko večji stroški dušilcev se upravičujejo s stabilnostjo delovanja pralnega stroja, manjšimi vibracijami in manjšo porabo energije.
- Stroški eksperimentalne optimizacije dinamike pralnega stroja in verifikacije

procesa delovanja pri izbranih dušilnih karakteristikah dušilcev

- Krajši čas za validacijo posameznih tehničnih rešitev v dinamiki sistema

INTEGRABILNOST

- Dodatna krmilna elektronika se lahko zelo enostavno integrira v obstoječo krmilno elektroniko pralnega stroja.

Prav zaradi omenjenih prednosti, ki jih ponuja adaptivni dušilec z izkoriščanjem magnetnoreološkega učinka, je zelo priljubljen tako v industrijskem okolju za razvoj proizvoda kot tudi v akademskem okolju za aplikativne ali temeljne raziskave.

Sklep

Obvladovanje vibracij in dinamike sodobnih industrijskih proizvodov je pogosto izhodišče za razvoj tehnično dovršenega in zanesljivega izdelka. Zato so pralni stroji zgleden primer snovanja proizvoda na podlagi kompromisa med obvladovanjem vibracij, povezanih z delovnimi obrati bobna pralnega stroja, za doseganje optimalnega dinamičnega učinka sistema in primarno funkcionalnost (t. i. pralni učinek).

Poznavanje in izkoriščanje lastnosti adaptronskih, magnetnoreoloških tekočin je omogočilo razvoj adaptivnih dušilcev ter nato tehnološki preboj na področju dinamike pralnih strojev in obvladovanja vibracij in hrupa. V industriji bele tehnike ima adaptronika še veliko možnosti za nadaljnji razvoj – na primer zlitine s spominom (npr. pametne vzmeti) in vse bolj zastopani polimerni materiali (npr. inteligentni polimerni materiali – polimerna pralna kad). Naloga razvojnih inženirjev je tako spremljanje aplikativnih temeljnih raziskav, postopna uvedba tehničnih in tehnoloških rešitev v serijsko proizvodnjo ter doseganje novih proizvodnih lastnosti (angl. *features*). ■

Literatura

- [1] Vasic, V. S., Lazarević, M. P.: Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design. Faculty of Mechanical Engineering Transactions, 2008 (36): 103-108. Faculty of Mechanical Engineering, University Belgrade (Srbija), (www.mas.bg.ac.yu/istrazivanje/biblioteka/publikacije/Transactions_FME/Volume%2036/3/02_MLazarevic.pdf)
- [2] Drossel, W. G.: Adaptronik – Anwendung. V: Schirmer, W.: Technischer Lärmschutz – Grundlagen und praktische Maßnahmen zum Schutz vor Lärm und Schwingungen von Maschinen, 2., bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, 2006.
- [3] Bein, T., Hanselka, H., Nuffer, J.: Adaptronik – ein technischer Ansatz zur Lösung bionischer Aufgaben. V: Rossmann, T., Tropea, C.: Bionik. Springer Verlag, 2005.
- [4] Janocha, H.: Adaptronics and smart structures. Springer Verlag, 2007.
- [5] Bein, T., Bös, J., Herold, S., Mayer, D., Melz, T., Thomaier, M.: Smart interfaces and semi-active vibration absorber for noise reduction in vehicle structures. Aerospace Science and Technology, 2008 (12): 62–73.
- [6] Carlson, J. D.: Controlling vibration with magnetorheological fluid damping. Sensors Magazine, February 2002 (www.sensorsmag.org).
- [7] Koo, J. H.: Using magneto-rheological dampers in semiactive tuned vibration absorbers to control structural vibrations. PhD., Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [8] Janocha, H.: Application potential of magnetic field driven actuators. Sensors and actuators, 2001 (A 91): 126–132.
- [9] Sümer, T.: Dynamic modeling and simulation of an automatic washing machine suspension system. M.Sc, Bogazici University (Turkey), 1991.