

Luka Olivari, mag. ing, mech.¹

ZNAČAJKE STEZNIH SUSTAVA S DEFINIRANOM NUL-TOČKOM

Pregledni rad / Review

UDK 621.9

Stezni sustavi s definiranom nul-točkom koriste se za brzu izmjenu obradaka na numerički upravljanim obradnim strojevima i mjernim uređajima ili elektroda kod obrade elektro-erozijom. Poznato je da primjena ovih sustava bitno smanjuje pripremno-završna vremena kod obrade, omogućava automatizaciju izmjene obradaka kao sučelje između obradnog stroja i paletnog sustava, te izmjenu obradaka između više obradnih strojeva. Značajke ovih sustava, kao i njihove vrijednosti i posebne mogućnosti mogu se jedino pronaći u katalogima proizvođača koji su pisani na stranim jezicima. Takav prikaz podataka otežava brz uvid i usporedbu steznih sustava s definiranom nul-točkom. Svrha ovog rada je prikupiti i na jednom mjestu definirani, opisati i numerički prikazati vrijednosti najbitnijih značajki steznih sustava s definiranom nul-točkom, ali i opisati posebne mogućnosti koje pružaju ovi sustavi.

Ključne riječi: stezni sustavi s definiranom nul-točkom, značajke, stezanje obradaka, pregled.

1. Uvod

Stezni sustavi s definiranom nul-točkom vrlo se često koriste u industriji za brzu i preciznu izmjenu alata ili obradaka, pretežito kod obrade metala. Veoma su učinkoviti za skraćenje pripremno-završnih vremena kod polu-automatske ili potpuno automatizirane izmjene obradaka pri obradi odvajanjem čestica ili izmjene alata kod obrade elektro-erozijom. Unatoč tome, podatci o mogućnostima i značajkama ovih sustava dostupni su samo u katalogima proizvođača. Njihov detaljan opis i numeričke vrijednosti ovise o tome koliko su proizvođači voljni posvetiti vremena zapisivanju i prikazivanju tih podataka u svojim katalogima. Takav pristup podacima otežava brz pregled i usporedbu navedenih sustava. Svrha ovog rada je prikupiti podatke iz kataloga proizvođača, te na jednom mjestu definirati, opisati i numerički prikazati vrijednosti najbitnijih značajki steznih sustava s definiranom nul-točkom, ali također i navesti i opisati posebne mogućnosti koje pružaju ovi sustavi.

¹ Veleučilište u Šibeniku

2. Značajke steznih sustava s definiranom nul-točkom

U nastavku su definirane, opisane i uspoređene najbitnije značajke steznih sustava s definiranom nul-točkom, a to su: radni medij koji se koristi za ostvarivanje sile stezanja, ponovljivost pozicioniranja (e. *repeatability*), ponovljivost pozicioniranja između različitih strojeva (e. *system accuracy*), potrebna točnost prednamještanja (e. *radial pre-positioning*), sila povlačenja i stezanja (e. *pull-in and locking force*), sila pridržavanja (e. *holding force*), potreban radni tlak medija (e. *operating pressure*).

Ukupno vrijeme izmjene obratka najvećoj mjeri ovisi o cjelokupnom sustavu koji čine obradni stroj i sustav za rukovanje, transport i skladištenje obradaka kod automatiziranih obradnih sustava, odnosno o operateru ako se izmjena obradaka vrši ručno. Udio ukupnog vremena izmjene obradaka koji je vezan isključivo uz stezne sustave s definiranom nul-točkom je neznatan i uključuje samo stezanje i otpuštanje steznog klipa iz steznih čeljusti što se najčešće se odvija za 0,2 do 2 sekunde. [1] [2]

Veličina sustava definira veličinu i težinu obratka koju navedeni sustav može prihvatiti, pa tako se podrazumijeva da "veći" sustav istog proizvođača može ispravno pozicionirati i stegnuti obratke većih gabarita i veće mase.

Ponovljivost pozicioniranja jest tolerancija unutar koje će se obradak pozicionirati prilikom skidanja i ponovnog postavljanja unutar radnog prostora jednog obradnog stroja. [2] Ponovljivost pozicioniranja često je približno 0,005 mm, s tim da manji sustavi postižu veću ponovljivost pozicioniranja u odnosu na veće sustave.

Ponovljivost pozicioniranja između različitih strojeva jest točnost pozicioniranja obratka prilikom transporta između različitih obradnih strojeva i mjernih uređaja. [3] Ova ponovljivost ne ovisi samo o steznim sustavima s definiranom nul-točkom nego i o pažnji i preciznosti instalacije sustava krajnjeg korisnika na obradne strojeve i mjerne uređaje. Okvirno, stezni sustavi s definiranom nul-točkom postižu upola manju točnost pozicioniranja između više strojeva nego na samo jednom stroju, ali ispravnim konstrukcijskim izvedbama i prilagodbama ponovljivost pozicioniranja između više strojeva može se bitno poboljšati.

Potrebna točnost prednamještanja jest dopušteno radijalno odstupanje osi steznog klipa i steznih čeljusti pri kojem će doći do točnog nasjedanja i stezanja obratka, odnosno minimalna radijalna udaljenost na koju je potrebno dovesti osi steznog klipa i steznih čeljusti kako bi se omogućilo ispravno stezanje steznog klipa unutar steznih čeljusti. Kod automatske izmjene obradaka, sustav za rukovanje obradcima mora se moći točno pozicionirati unutar ove tolerancije. Dopuštena radijalna odstupanja iznose od 1 mm do 12 mm. Sustavi koji imaju mogućnost stezanja većih i težih obradaka imaju veća dopuštena radijalna odstupanja.

Sila povlačenja i stezanja jest ona sila kojom stezne čeljusti privlače i zadržavaju obradak unutar radnog prostora obradnog stroja [4]. Sila povlačenja se prenosi preko steznog klipa na obradak, najčešće iznosi od 5 kN do 40 kN što ovisi o veličini sustava i vrsti radnog medija koji sustav koristi. Sustavi koji koriste hidraulički radni medij generalno za istu veličinu sustava ostvaruju veće sile privlačenja i stezanja.

Sila pridržavanja je maksimalno dopuštena vlačna sila kojom se može opteretiti sustav da se ne poremeti točnost pozicioniranja uslijed elastične deformacije elemenata sustava. Ovi-

sno o primjeni, dodatno se mora uzeti u obzir i određeni faktor sigurnosti [4]. Sile pridržavanja iznose od 13 kN do 105 kN i ovise o veličini sustava.

Za ispravan rad steznih sustava s definiranim nul-točkom tlak radnog medija potrebno je zadržati unutar vrijednosti definiranih potrebnim radnim tlakom sustava što ovisi o vrsti radnog medija koji sustav koristi. Za pneumatske sustave potreban tlak radnog medija je 5 do 12 bara, dok je kod hidrauličkih sustava potreban radni tlak znatno veći i iznosi 30 do 80 bara.

U *tablici 1* usporedno su prikazane numeričke vrijednosti bitnih značajki steznih sustava s definiranim nul-točkom. Vrijednosti su prikupljene iz kataloga četiri velika proizvođača kako bi se olakšala usporedba podataka i prikazao red veličine navedenih značajki. Bitno je napomenuti kako svi proizvođači ne ističu numeričke vrijednosti svih značajki, tako da su u tablici prikazane značajke koje su bile dostupne ovisno o proizvođaču. [2] [3] [5] [6] [7]

Osim što primjena steznih sustava s definiranim nul-točkom skraćuje pripremno završna vremena i omogućava automatizaciju, ovi sustavi pružaju niz drugih prednosti, poput bolje dinamike proizvodnog procesa, kontroliranog spuštanja teških obradaka i smanjenja šanse da pri tome nastanu oštećenja, mogućnost horizontalnog prihvaćanja naprave i detekcije ispravno pozicionirane naprave. U nastavku teksta navedene su i opisane posebne značajke i mogućnosti steznih sustava s definiranim nul-točkom.

Tablica 1. Numeričke vrijednosti značajki steznih sustava s definiranim nul-točkom

Proizvođač – sustav	Radni medij	Ponovljivost pozicioniranja [mm]	Ponovljivost pozicioniranja između strojeva [mm]	Potrebna točnost prednamještanja [mm]	Sila povlačenja i stezanja [kN]	Sila pridržavanja [kN]	Radni tlak [bar]
Jergens – K5	hidra.	<0,005			5	13	50-60
Jergens – K10	hidra.	<0,005			10	25	50-60
Jergens – K20	hidra.	<0,005			20	55	50-60
Jergens – K40	hidra.	<0,005			40	105	50-60
Jergens – K5	pneum.	<0,005			1,5	13	8-12
Jergens – K10	pneum.	<0,005			8,5	25	8-12
Jergens – K20	pneum.	<0,005			17	55	8-12
Jergens – K40	pneum.	<0,005			30	105	8-12
STARK – SPEEDY cl. 1 standard	hidra.	<0,005	<0,01	±3	6,7	25	35-40
STARK – SPEEDY cl. 1 tornado	hidra.	<0,005	<0,01	±3	10	25	75-80
STARK – SPEEDY cl. 2 standard	hidra.	<0,005	<0,01	±2,5	20	38	35-40
STARK – SPEEDY cl. 3 standard	hidra.	<0,005	<0,01	±4	30	55	30-35

Proizvođač – sustav	Radni medij	Ponovljivost pozicioniranja [mm]	Ponovljivost pozicioniranja između strojeva [mm]	Potrebna točnost prednamještanja [mm]	Sila povlačenja i stezanja [kN]	Sila pridržavanja [kN]	Radni tlak [bar]
STARK – SPEEDY easy click	pneum.	<0,01		±1	5	10	3-8
STARK – SPEEDY system 3000	hidra.	<0,005	<0,01	±4		50	20
STARK – SPEEDY airtec	pneum.	<0,005	<0,01	±2	20	55	5-6
AMF – K5	hidra.	<0,006		4,0	5	13	
AMF – K10 i K10.2	hidra.	<0,007		6,5	10	25	
AMF – K20	hidra.	<0,009		12,0	20	55	
AMF – K40	hidra.	<0,011		12,0	40	105	
AMF – K02	pneum.	<0,002		1,0	0,23	6	
AMF – K5	pneum.	<0,005		4,0	1,5	13	
AMF – K10 i K10.2	pneum.	<0,005		6,5	8,5	25	
AMF – K10.3	pneum.	<0,005		6,5	10	25	
AMF – K20	pneum.	<0,005		12,0	17	55	
AMF – K20.3	pneum.	<0,005		12,0	17	55	
AMF – K40	pneum.	<0,005		12,0	30	105	
System 3R – Macro	pneum. / vijak	0,002			6		6±1
System 3R – MacroNano	pneum. / vijak	0,001			6		6±1
System 3R – Macro-Magnum	pneum. / vijak	0,002			16		6±1
System 3R – GPS 240	pneum.	0,002			30-80		6
System 3R – Dynafix	pneum.	0,002			60		6±1
System 3R – Delphin	pneum.	<0,005			13		

Izvor: Autor

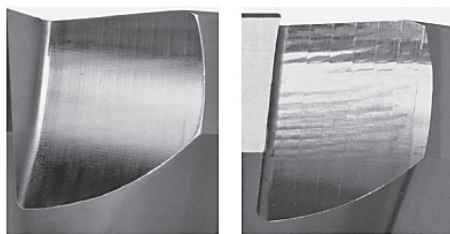
2.1. VDP stezne čeljusti

Neke stezne čeljusti steznih sustava s definiranom nul-točkom imaju mogućnost prigušivanja vibracija koje se javljaju prilikom obrade (e. *Vibration-Damped Palletization – VDP*). Vibracije koje se javljanju prilikom procesa obrade ograničavaju posmak i broj okretaja reznog alata kako bi se postigla željena stabilnost procesa i kvaliteta obrađene površine.

Prigušivanje vibracija se postiže polimernim elementom u strukturi stezne čeljusti. Polimerni element upija i prigušuje vibracije koje nastaju uslijed obrade, čime se postiže bolja dinamika procesa obrade odvajanjem čestica. Smanjenje vibracija uslijed procesa obrade omogućava veće režime obrade, bolju točnost dimenzija, veću kvalitetu obrađene površine (*slika 1*), manje trošenje reznog alata i manju buku prilikom obrade. Manje vibracije omogućavaju i bolji omjer duljine i širine kod obrade dugih i tankih obradaka, što povećava raspon proizvodnih kapaciteta. [7]

Korištenjem VDP steznih čeljusti omogućava se veći posmak i broj okretaja reznog alata, što povećava količinu skinutog materijala, tj. kraće vrijeme obrade. Smanjuju se sile rezanja do 25%, što smanjuje potrošnju energije i smanjuje trošenje reznog alata. Produžuje se vijek trajanja reznoga alata do 30% što smanjuje troškove alata. Manje vibracije produžuju vijek trajanja glavnog vretena obradnog stroja za 30% [7]. Sve navedene prednosti povećavaju proizvodnost, raspon proizvodnih kapaciteta, smanjuju troškove proizvodnje i održavanja, što u konačnici povećava ostvarenu dobit.

Slika 1. Razlika u kvaliteti obrađene površine s VDP steznim čeljustima (lijevo) i konvencionalnim prihvatom palete (desno)



Izvor: Reference systems for precision machining

2.2. Pozicioniranje preko steznih spojnika

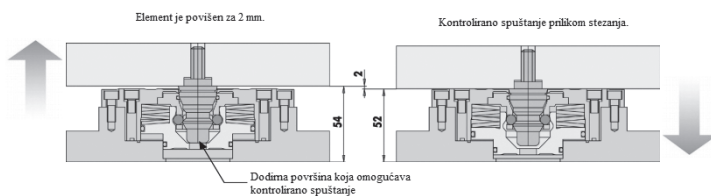
Stezne spojnice (e. *clamping spigots*) omogućuju stezanje obradaka izravno u stezne čeljusti, bez potrebe za dodatnom steznom napravom ili paletom. Stezne spojnice se ugrađuju izravno u obradak i imaju funkciju steznog klipa koji se steže u stezne čeljusti. Pomoću steznih spojnika se najčešće stežu veliki i teški obradci na radni stol obradnog stroja. Obradak se pozicionira na isti način kao i kod klasičnog sustava sa steznim klipom i steznim čeljustima. Jedan par steznih spojnika i steznih čeljusti vrši pozicioniranje po dvije osi (x os i y os), drugi par vrši pozicioniranje po samo jednoj osi (npr. y os), dok ostali parovi služe samo za ostvarivanje veće sile stezanja. [8]

2.3. Kontrolirano spuštanje teških obradaka

Kod nekih sustava korištenje hidrauličkog radnog medija za aktiviranje sile stezanja omogućava kontrolirano spuštanje teških obradaka prilikom stezanja [8]. Sklop koji omogućava kontrolirano spuštanje je izdignut 2 mm iznad svog položaja koji zauzima kada je obradak stegnut. Stezni klip nasjeda na dodirnu površinu koja preuzima težinu obratka. Prilikom stezanja

sklop malom brzinom se spušta prema svom konačnom položaju i kontrolirano prenosi težinu obratka na stezne čeljusti. Princip rada kontroliranog spuštanja obradaka je prikazan na *slici 2*. Kontroliranim načinom spuštanja stezne čeljusti i ostala oprema se štiti od oštećenja, čime se čuva točnost pozicioniranja tijekom radnog vijeka, produžuje životni vijek opreme, te smanjuju troškovi održavanja i zamjene dotrajale opreme. Korištenje sustava koji omogućuju kontrolirano spuštanje teških obradaka ne preporučuje se kod vertikalnog stezanja obradaka. [8]

Slika 2 Princip kontroliranog spuštanja obradaka



Izvor: Delphin – the modular clamping system

2.4. Automatsko čišćenje naležnih površina preko zračnih mlaznica

Za vrijeme izmjene steznih naprava odnosno obradaka, strugotina i sredstvo za hlađenje i podmazivanje može prekriti naležne površine sustava, čime se gubi preciznost i ponovljivost stezanja, a može doći i do oštećenja naležnih površina. Kako bi se spriječile neželjene posljedice, proizvođači steznih sustava s definiranom nul-točkom nude mogućnost automatskog čišćenja naležnih površina. Automatsko čišćenje se postiže brizganjem zraka pod tlakom preko zračnih mlaznica, a približavanjem stezne naprave prema steznim čeljustima stvaraju se uski kanali kojima zrak struji sve većom brzinom i odnosi strugotinu i sredstvo za hlađenje i podmazivanje u struji zraka. Kod potpuno automatiziranih sustava s automatskom izmjenom paleta stezne čeljusti imaju ugrađenu mini-turbinu s više tangencijalnih otvora za zrak postavljenih na obodu turbine. Zbog tlaka zraka turbina se rotira, a struja zraka pod tlakom prekriva puni krug od 360° i odnosi nečistoće s naležnih površina. [5] [6]

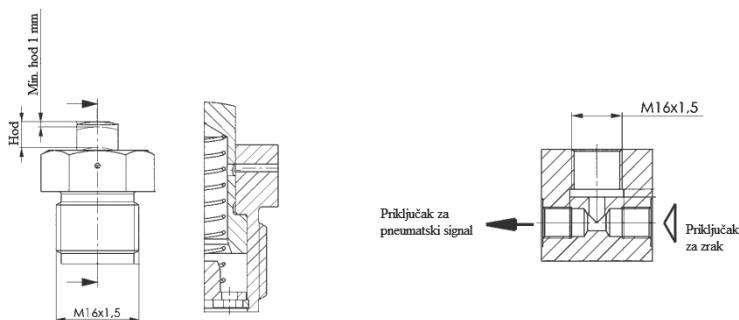
2.5. Moduli za konverziju na manji sustav

Većina proizvođača ima u ponudi posebne module koji omogućavaju konverziju s većeg s na manji sustav istog proizvođača što povećava fleksibilnost obradnog stroja. Modul se sastoji od steznih klipova sa svoje donje strane dok se na gornjoj strani nalaze stezne čeljusti manjeg sustava. Manji sustavi često ostvaruju veću ponovljivost pozicioniranja, ali ponekad imaju i neke dodatne značajke poput mogućnosti paletizacije sustava. Na primjer, pomoću modula za konverziju na manji sustav ostvaruje se mogućnost korištenja većeg sustava za obradu velikih i teških obradaka na koje se izravno ugrađuju stezne spojnice, dok se pritom ne eliminira mogućnost automatske izmjene paleta preko manjeg sustava na istom obradnom stroju. Negativna strana ovih modula je što se dodatno smanjuje raspoloživa visina radnog prostora unutar obradnog stroja i povećava početna investicija. [6] [7]

2.6. Detekcija ispravno pozicionirane naprave

Detekcija ispravno pozicionirane naprave se koristi u procesima kod kojih je potreban povratni signal koji indicira ispravan položaj naprave da bi mogla započeti obrada. Položaj naprave se detektira pomoću pneumatskog elementa, šupljeg klipa s oprugom kroz koji struji zrak pod tlakom (slika 3). Početni položaj, bez stezne naprave, osigurava se oprugom unutar klipa. U početnom položaju zrak pod tlakom struji kroz klip i izlazi kroz otvor na kućištu. Postavljanjem stezne naprave, klip se pomiče prema dolje i zatvara otvor za izlaz zraka, zbog čega tlak unutar sustava raste. Zrak se preusmjerava na odgovarajući pretvarač koji daje signal da se stezna naprava nalazi u ispravnom položaju. Maksimalni hod klipa je 5 mm, a minimalni hod, da bi se signal ostvario je 1 mm. [5]

Slika 3. Pneumatski element za detekciju ispravno pozicionirane naprave



Izvor: Catalogue AMF Zero-Point Systems 2017/2018

2.7. Sigurnosni sustav protiv blokiranja steznog klipa

Sigurnosni sustav protiv blokiranja steznog klipa kod sustava s hidrauličkim radnim medijem omogućava da stezne čeljusti uvijek mogu otpustiti stezni klip. Na ovaj način se povećava pouzdanost i izbjegava oštećenje sustava prilikom prisilnog rastavljanja steznog klipa i steznih čeljusti. Ako se brtva na klipu istroši ili ošteti, hidraulički radni medij tj. ulje ulazi u prostor u kojem se nalazi opruga koja ostvaruje silu stezanja. U tom slučaju stezni klip se blokira jer ga stezne čeljusti ne mogu otpustiti, a šteta na steznoj napravi ili steznim čeljustima je neizbježna. Sigurnosni sustav protiv blokiranja steznog klipa omogućava da se ulje iz prostora s oprugom može ispustiti, a stezni klip izvaditi iz čeljusti bez oštećenja sustava. [5]

2.8. Brzo horizontalno stezanje

Stezanje teških naprava ili obradaka pomoću steznih sustava s definiranom nul-točkom u horizontalnom smjeru otežava nepraktično pozicioniranje steznih klipova u odnosu na rupe steznih čeljusti. Kako bi se izbjegle eventualne štete i smanjio nepotrebn gubitak vremena na pozicioniranje kod horizontalnog stezanja može se koristiti poseban sustav za brzo horizontalno stezanje. Stezne čeljusti su opremljene uvlačno-izvlačnim cilindrom na koji se stezni klip ovjesi preko posebnog izdanka koji je konstruiran da olakša pozicioniranje i

prihvatanje steznog klipa pri spuštanju vertikalno prema dolje (*slika 4*). Nakon što se stezni klip ovjesio, uvlačno-izvlačni cilindar povlači stezni klip u stezne čeljusti. Kod korištenja ovog sustava treba paziti na maksimalnu težinu koju može prihvatiti pojedini cilindar, što ovisno o veličini sustava može biti do 5 kN, odnosno do 8 kN po cilindru. [5]

Slika 4. Brzo horizontalno stezanje



Izvor: 5. Catalogue AMF Zero-Point Systems 2017/2018

2.9. Referentno vreteno

Referentno vreteno (e. *reference mandrel*) olakšava pozicioniranje i instalaciju steznih čeljusti koje se pojedinačno ugrađuju na radni stol obradnog stroja. Referentno vreteno se postavlja u stezne čeljusti, a konični alat za centriranje se postavlja u glavno vreteno obradnog stroja kao što se postavlja bilo koji standardni rezni alat. Stezna čeljust se ručno dovede u približan položaj na radnom stolu, te se pomoću referentnog vretena i alata za centriranje točno pozicionira u željeni položaj nasjedanjem konične površine alata za centriranje i referentnog vretena. Alat za centriranje zadržava steznu čeljust u željenom položaju dok se ne učvrsti na radni stol obradnog stroja. Ovakav način montiranja omogućava jednostavno i precizno montiranje steznih čeljusti i točno postizanje željenog odnosa između steznih čeljusti. [8]

3. Zaključak

Neki proizvođači steznih sustava s definiranom nul-točkom u svojim katalozima točno definiraju značajke ovih sustava, te pružaju numeričke vrijednosti svake od tih značajki, dok ostali proizvođači pružaju samo najosnovnije podatke. Prema katalozima proizvođača u radu su definirane bitne značajke tih sustava poput ponovljivosti pozicioniranja, ponovljivosti pozicioniranja između različitih strojeva, potrebna točnost prednamještanja, sila povlačenja i stezanja, sila pridržavanja, potreban radni tlak medija, te su u tablici prikazane njihove numeričke vrijednosti. Ovakav prikaz olakšava sveobuhvatan uvid u red veličine navedenih podataka, te međusobnu usporedbu različitih steznih sustava. Primjena steznih sustava s definiranom nul-točkom skraćuje pripremno završna vremena i omogućava automatizaciju proizvodnog procesa, ali također pruža i niz drugih prednosti. Tako se na primjer postiže

bolja dinamika proizvodnog procesa, sprječava se nastanak oštećenja i općenito produžuje životni vijek strojeva i opreme, pogotovo ako se iskoriste brojne posebne mogućnosti ovih sustava, među kojima su i VDP stezne čeljusti, kontrolirano spuštanje teških obradaka, automatsko čišćenje naležnih površina, detekcija ispravno pozicionirane naprave i sl.

LITERATURA

1. Catalogue AMF Zero-Point Systems 2017/2018.pdf, <http://www.amf.de>
2. Delphin – the modular clamping system.pdf, p. 5.-55., <http://www.system3r.ch>
3. Fleischer, J., Denkena, B., Winfough, B., Mori, M. (2006). Workpiece and tool handling in metal cutting machines. CIRP annals, Vol. 55(2), 817-839.
4. Instalation manual Jergens ZPS.pdf, p. 7.-19., <http://www.jergensinc.com>
5. Reference systems for Precision Production and Die-Sinking EDM, <http://www.system3r.ch>
6. Reference systems for precision machining.pdf, p. 4.-63., <http://www.system3r.ch>
7. STARK Spannsysteme GmbH, <http://www.stark-inc.com/>
8. Workholding solutions catalogue.pdf, p. 6-61. <http://www.jergensinc.com>

Summary

ZERO-POINT CLAMPING SYSTEMS FEATURES

Zero-point clamping systems are used to quickly change workpieces on numerically controlled machines and measuring devices or electrodes for electric discharge machining. It is well-known that the application of these systems significantly reduces the preparation and finishing times for machining, enables the automation of the workpiece handling as an interface between the machine and the pallet system, and enables the change of workpieces between several machines. The features of these systems and their numerical values, as well as special features, can only be found in manufacturers' catalogs written in foreign languages. Such data representation makes it difficult to quickly overview and compare zero-point clamping systems. The purpose of this paper is to collect and define the values of the most important features of zero-point clamping systems in one place, but also to describe the special possibilities enabled by use of these systems.

Key words: zero-point clamping system (ZPS), features, workholding, overview.