

IZVOĐENJA VENTILA KLIPNIH KOMPRESORA I USLOVI PRI MODELIRANJU

RECIPROCATING COMPRESSOR VALVE DESIGNS AND CONDITIONS OF MODELING

Milojević S.* , Pešić R.** , Taranović D.***

REZIME

Funkcionalnost kompresorskih ventila direktno utiče na rad i pouzdanost klipnih kompresora. Od ispravnosti klipnog kompresora u velikoj meri zavisi pouzdanost rada kočnog sistema na motornom vozilu. Otkazi kompresorskih ventila dovode do zastoja u radu kompresora, što kao posledicu može da ima otkaz čitavog kočnog sistema.

U ovom radu je dat pregled prethodnih i nekih savremenih konstrukcijskih rešenja ventila klipnih kompresora. Definisana su stanja i procesi koji se dešavaju u okviru same konstrukcije pločastog ventila zavisno od procesa koji se odvija u kompresoru, što se može koristiti za potrebe modeliranja i daljeg istraživanja. Pri formiranju dinamičkog modela pločastog ventila pored sila opruga, sila otpora trenja, sila usled protoka gasa treba uzeti u obzir i prisustvo adhezione sile između ploče i sedišta ventila odnosno graničnika. Na kraju rada su na osnovu podataka iz literature sistematizovani najčešći uzroci pojave nedostataka u radu ventila i njihovih otkaza.

Ključne reči: klipni kompresor, izvođenje ventila, modeliranje

SUMMARY

Functionality compressor valve directly affects the performance and reliability of the reciprocating compressor. The reliability of brake system on the vehicle depends largely on from the correctness of reciprocating compressors. Compressor valves failures leading to a malfunction of the compressor, which could lead to the collapse of the entire brake system.

This paper provides an overview of past and some modern of reciprocating compressors valves design. In this paper are defined the conditions and processes that take place within the structure of the valve plate, depending on the processes taking place in the compressor, which can be used for modelling, and further research. In the formation of dynamic models of valves

* mr Saša Milojević, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, tiv@kg.ac.rs

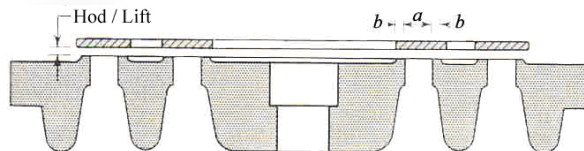
** Prof. dr Radivoje Pešić, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, pesicr@kg.ac.rs

*** mr Dragan Taranović, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, tara@kg.ac.rs

većem stepenu nego kod izduvavanja.

Površine iznad linije BD i ispod linije AE do linije indikatorskog dijagrama na slici 1 predstavljaju rad koji je povezan sa realnim fazama izduvavanjem i usisavanjem vazduha. Kratkotrajni maksimumi vrednosti pritiska u tački C i minimuma u tački F su posledica potrebne razlike pritisaka za otvaranje ventila i same dinamike ventila.

Na slici 2 je prikazan poprečni presek izduvnog ventila sa zaptivnim elementom u vidu ploče i izdignutim sedištem u obliku prstena širine b . Površina ploče ventila, koja je u kontaktu sa sedištem, može da dostigne 30 do 70% površine ulaznog kanala. Ovo znači da je moguće da pritisak u cilindru bude veći za preko 50% od pritiska u izduvnom vodu, a da je ventil još uvek potpuno zatvoren [4]. U cilju smanjenja razlike pritisaka (porast pritiska od B do C), koja je potrebna za otvaranje izduvnog ventila, neophodno je smanjiti površinu kontakta sedišta i ploče ventila.

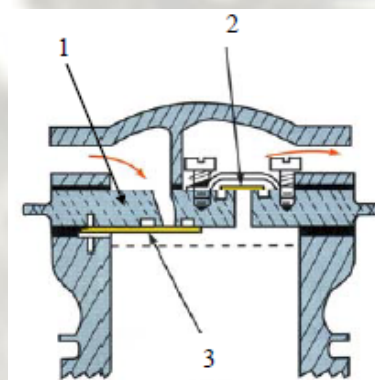


Sl. 2. Poprečni presek ploče ventila i sedišta
Fig. 2. Cross section of the valve plate and seat

Proces otvaranja ventila, pored sile u oprugama, zavisi i od adhezione sile u kontaktnoj površini između ploče ventila i sedišta. Ako u kontaktnoj površini nema prisustva ulja, adhezione sile može nastati kao posledica unutar molekularnih sila ili podpritiska. U realnosti uslovi su mnogo složeniji jer je prisustvo ulja kojim se podmazuju delovi kompresora neizbežno. Adhezione sile je srazmerna koeficijentu adhezije čije vrednosti variraju u zavisnosti od konstrukcije sedišta ventila. Postoje ravna sedišta ventila, uzdignuta ravna sedišta, sedišta sa radijusom ili oštrom ivicom i sl. [1].

VARIJANTE VENTILA KLIPNIH KOMPRESORA

Austrijski konstruktor Rogler je 1910. godine razvio prvi laki pločasti ventil za potrebe kompanije Ingersoll Rock Drill. Ovaj ventil je poznat pod nazivom "uragan" i korišćen je uglavnom za sisteme u rudnicima. 1912. godine korporacija Worthington je patentirala ventil sa ravnim otvorima koji su urezani u sedištu ventila i koji se zatvaraju uz pomoć sličnih pločica. Pločice ventila pritiskaju pera debljine lista koja se oslanjaju na graničnik. Podizanje pločica ventila je određeno debljinom uloška koji ujedno služi i za vođenje pločice. Svaka pločica vodi se posebno što je zahtevalo vrlo preciznu i kvalitetnu obradu delova da ne bi došlo do zaglavljivanja ili loma pločice. Kod nekih vrsta ovog tipa ventila, pločica ventila i pero ventila su integrisani u jedan element što pojednostavljuje konstrukciju [4].



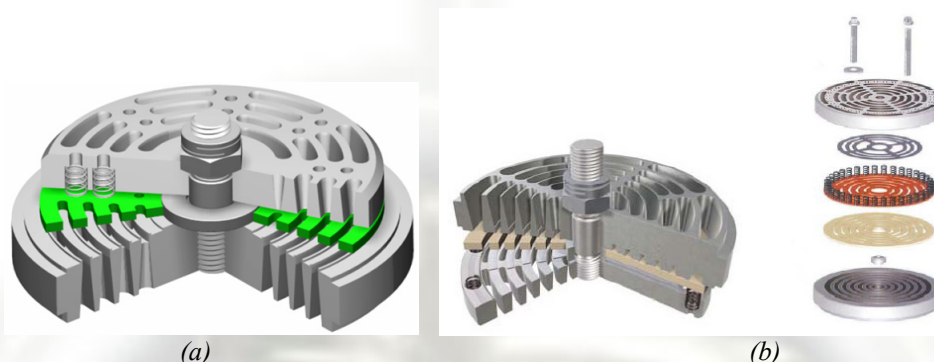
Sl. 3. Šematski prikaz lamelnog ventila
[4]

Fig. 3. Schematic view of reed valve [4]

Lamelni ventili su razvijeni uglavnom za primenu na manjim klipnim kompresorima koji su

hermetički ili polu hermetički zatvoreni i kao takvi se ugrađuju u manje rashladne uređaje. U glavi kompresora (1) se nalaze usisni ventil (3) i izduvni ventil (2) koji se zatvaraju pomoću pločica u vidu lamele, slika 3. Pločice su vrlo tanke i svojom elastičnošću drže ventil u zatvorenom stanju na sedištu i svojim savijanjem (ugibom) oslobađaju usisne odnosno izduvne kanale zbog čega nisu potrebne posebne opruge. Sedište ovakvih ventila je integrisano u glavi cilindra a ograničenje hoda se ostvaruje otpornošću same lamele na savijanje [4].

Danas se u primeni uglavnom nalaze tri standardna tipa ventila klipnih kompresora: pločasti, pečurkasti i ventili sa koncentričnim prstenovima. Svaki od ovih ventila ima specifičnu konstrukciju.



Sl. 4. (a) Pločasti ventil tipa PF firme Dresser-Rand; (b) CT ventil firme Hoerbiger – sklop ventila (levo) i rastavljen ventil (desno) [1,5]

Fig. 4. (a) PF Plate Valve Made by Dresser-Rand; (b) Hoerbiger CT Valve – Assembled View (on left) and Expanded View (on right) [1,5]

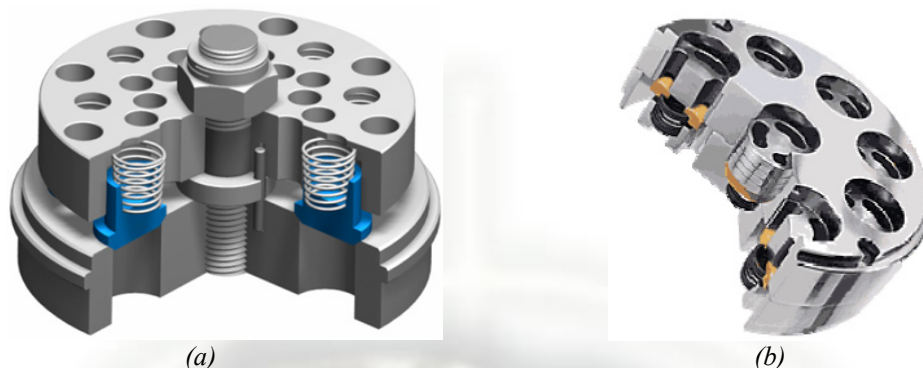
Dresser-Rand i Hoerbiger su razvili ventile koji mogu da se deklariraju kao pločasti. Dresser-Rand proizvodi PF ventile koji su razvijeni na bazi patenta rasečene ploče sa koncentričnim otvorima od specijalnog materijala. Poprečni presek PF ventila je prikazan na slici 4(a). Hoerbiger proizvodi CS, CT, HDS i R ventile koji su takođe tipa pločastih ventila. Konstrukcija CT ventila firme Hoerbiger je prikazana na slici 4(b). Kod ovih pločastih ventila se koriste cilindrične opruge malih dimenzija [5].

Razvoj savremenih ventila je usmeren na ventile oblika pečurke koji imaju složeniju konstrukciju, slika 5(a). Konstrukcija pečurkastih ventila se sastoji od više pojedinačnih zaptivnih elemenata u vidu pečurke koji se naslanjaju na sedišta pod dejstvom opruge. Sila pritiska gasova deluje na svaku pečurku pojedinačno. Ovakav tip ventila dopušta konstruktorima da projektuju ventile sa povećanim hodom zaptivnog elementa i time povećaju protočne površine. Otpor usled protoka kroz složene pečurka ventile je znatno manji nego kod klasičnih ventila u obliku ploče [1,4,5].

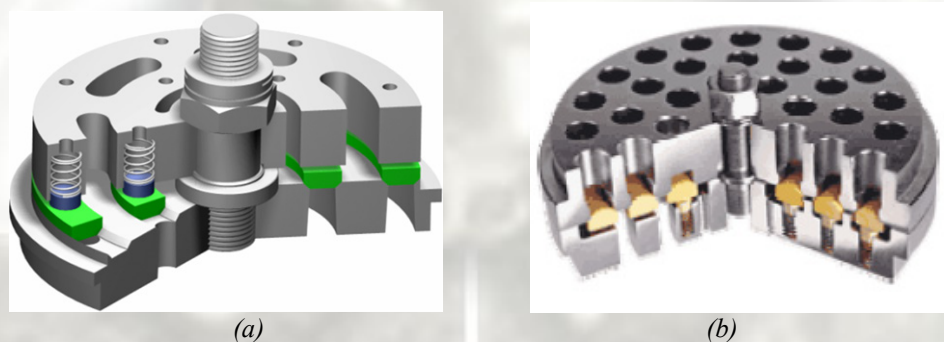
Kao varijanta pečurkastih ventila može se navesti novi kompresorski ventil tipa Moppet® koji se sastoji od više izmenljivih delova i koji se proizvodi u firmi Cook Manley. Ovaj ventil ima sličan princip rada kao standardni pečurkasti ventil a dodatno poseduje izmenljivi pločasti ventil u svakom otvoru, slika 5(b).

Konstrukcija ventila sa zaptivnim elementima u obliku koncentričnih prstenova je slična koncepciji pločastog ventila kod koga zaptivni element naleže na sedište ventila. Svaki pojedinačni prsten naleže na sedište ventila pod dejstvom sila u oprugama, slika 6(a). Ventil

tipa Manley je projektovan sa zaobljenim zaptivnim prstenovima i sedištem, čime je poboljšana aerodinamika protoka vazduha kroz ventil i smanjeni su otpori slika 6 (b) [1,5].



Sl. 5. (a) Konstrukcija klasičnog pećurka ventila; (b) Konstrukcija ventila Cook Manley Moppet® [1,5]
Fig. 5. (a) Standard Poppet Valve Design; (b) Cook Manley Moppet® Valve Design [1,5]



Sl. 6. (a) Klasična konstrukcija ventila sa koncentričnim prstenovima; (b) Konstrukcija ventila sa aerodinamičkim prstenovima tipa Manley®
Fig. 6. (a) Conventional valve design with concentric rings; (b) Manley® Valve Design

MODELIRANJE DINAMIKE VENTILA

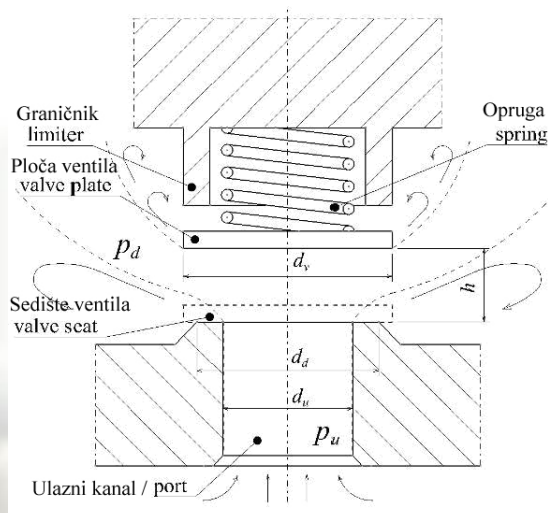
U principu, automatski ventil kompresora se sastoji od sedišta, pokretnog zaptivnog elementa, opruga koje ventil drži zatvorenim na sedištu i graničnika hoda kada je ventil potpuno otvoren.

U cilju definisanja fizičkog modela, pri modeliranju dinamike ventila slika 7, uzima se u obzir nekoliko stanja, pojava i procesa koji se odvijaju u samom sklopu ventila i to su [1,2]:

- ♦ Ventil u zatvorenom stanju.
- ♦ Otvaranje ventila. Kada sila pritiska gasova na ploču ventila postane veća od vrednosti sume sila koje ventil drže zatvorenim na sedištu počinje otvaranje ventila. Generalno postoje tri sile koje se suprotstavljaju odvajanju ploče od sedišta ventila i to su sila opruge,

adhezionijska sila usled prisustva sloja ulja na kontaktnim površinama i sila pritiska usled razlike pritiska sa obe strane ploče.

- ◆ Kretanje ploče ventila između sedišta i graničnika, izloženo sili opruge, sili usled otpora protoka gasa kroz ploču i usled trenja fluida koji se suprotstavlja kretanju.
- ◆ Udar u graničnik hoda ventila. Ovo može biti i ponovljen udar pre naleganja ploče na sedišta.
- ◆ Ventil je potpuno otvoren.
- ◆ Proces odvajanja. Kada sila u opruzi nadjača sile koje ventil drže u otvorenom stanju, ploča ventila se oslobađa od graničnika hoda. Slično procesu otvaranja, u slučaju prisustva ulja i/ili adhezionijskih sila gasa iste treba da budu uzeti u obzir.
- ◆ Ploča se kreće između graničnika hoda i sedišta, slično kao tačka 3.
- ◆ Udar ploče ventila o sedišta. Ovo može biti i ponovljen udar pre naleganja ploče na sedišta.
- ◆ Ventil u zatvorenom stanju.



Sl. 7. Opšti model ventila klipnog kompresora
Fig. 7. Generic model of the reciprocating compressor valve

Za svako od ovih devet stanja mogu se napisati adekvatne jednačine dinamičke ravnoteže.

UZORCI OTKAZA VENTILA

Otkazi kompresorskih ventila su uglavnom posledica deformacija i/ili loma delova ventilske sklopke koji se sastoji od dva nepokretna (graničnik i sedišta ventila) i dva pokretna dela (ploča i opruga ventila). Pokretni delovi ventila su više odgovorni za njegovu funkcionalnost pa se najčešće posmatraju kao uzrok otkaza ventila. Ploča ventila je izložena stalnom dinamičkom opterećenju i korozivnom dejstvu gasova. Opruga ventila mora biti od materijala odgovarajuće krutosti koji je otporan na dinamička opterećenja i koroziju. Lom opruge ventila je česta pojava. Graničnik i sedišta ventila takođe su odgovorni za funkcionalnost i vek kompresora. Delovi sedišta i/ili graničnika ventila usled loma ili drugih oštećenja mogu da prodru u kompresor i prouzrokuju prekomerno habanje i njegov otkaz.

Deformacije i lomovi delova ventila često su posledica neparalelnog kretanja ploče ventila koje je izazvano pojavom adhezione sile između ploče ventila i sedišta odnosno graničnika, zavisno od konstrukcije ventila. Mehanička oštećenja ventila zavise od veličine hoda ploče ventila i karakteristike opruge. U literaturi [5] stoji podatak da se otkazi javljaju češće kod ventila sa većim hodom, dok ventili sa kraćim hodom imaju duži vek ali su kompresori sa takvim ventilima manje efikasni.

Izbor materijala može značajno uticati na pouzdanost ventila. Plastika i bakelit se obično koristi kao materijal za izradu zaptivnih elemenata ventila. Ovakvi delovi su skoro dva puta izdržljiviji u odnosu na delove od čelika. Lakši su i savitljiviji i nisu podložni koroziji. Ne zahtevaju se posebne servisne intervencije prilikom popravke ventila. Treba obratiti pažnju da

plastični elementi u sklopu kompresora ne mogu da izdrže temperature preko 140 °C [4,5]. Pečurkasti ventili se izrađuju još i od legure aluminijuma i posebne vrste termoplastike odnosno specijalnih termoplastičnih materijala.

Takođe, prisustvo nečistoća u usisnom vazduhu u većini slučajeva predstavlja uzrok neispravnosti rada kompresora. To može da se eliminiše filtriranjem usisnog vazduha, separatorima vlage i sušačima. Korozivnost usisnog medijuma može biti opasna ali je nije lako predvideti, kao ni posledice [1,5].

ZAKLJUČCI

Performanse klipnih kompresora zavise u velikoj meri od funkcionalnosti usisnog i izduvnog ventila. Njihova efikasnost direktno utiče na isporuku vazduha kompresora. Sa tim u vezi, pojava isticanja komprimovanog vazduha usled loše zaptivenosti ventila rezultira padom pritiska u cilindru i smanjenjem isporuke kompresora.

Pri formiranju dinamičkog modela pločastog ventila pored sila opruga, sila otpora trenja, sila usled protoka gasa treba uzeti u obzir i prisustvo adhezione sile između ploče i sedišta ventila odnosno graničnika.

Pravilnom analizom dinamike ventila, zavisno od procesa u kompresoru, može značajno da se doprinese njihovom korektnom projektovanju, čime se poboljšava funkcionalnost i produžuje vek klipnih kompresora.

ZAHVALA

Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu Tr 35041 koji je finansiran od strane Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1.] Ninković, D., Taranović, D., Milojević, S. and Pešić, R. (2012). Modelling valve dynamics and flow in reciprocating compressors – a survey. International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, October 3rd-5th, 2012, Proceedings (Pešić R, Lukić J.), MVM2012-022, pp. 113-125, ISBN 978-86-86663-91-7.
- [2.] Ninković, D., Taranović, D., Milojević, S. and Pešić, R. (2012). A review of models for predicting instantaneous heat exchange between the gas and cylinder in reciprocating compressors. International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, October 3rd-5th, 2012, Proceedings (Pešić R, Lukić J.), MVM2012-023, pp. 126-136, ISBN 978-86-86663-91-7.
- [3.] Taranović, D., Pešić, R., Lukić, J. and Davinić, A. (2011). Test Bench for measuring characteristics of reciprocating compressor on tractors (In Serbian), Tractors and power machines, vol.16, No. 4, p. 20-26, 2011.
- [4.] Schel, F. L. (1961) Gas and Air Compression Machinery, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London, 1961.
- [5.] SwRI® Project No. 18.11052, Final Report. (2005). Advanced reciprocating compression technology (ARCT).

Rad primljen: 22.10.2012.

Rad prihvaćen: 05.11.2012.