KRALJEVINA SRBA, HRVATA I SLOVENACA

UPRAVA ZA ZAŠTITU INDUSTRIJSKE SVOJINE

KLASA 87 IZDAN 15. MARTA 1925.

PATENTNI SPIS BROJ 2625.

Michael Martinka, inžinjer, Rákosszentmihály, Ugarska.

Regenerator masa za kalorične mašine.

Prijava od 2. aprila 1923. Važi od 1 januara 1924.

Pravo prvenstva od 20. aprila 1922. (Ugarska).

Pronalazak se odnosi na regenerator masa kod kaloričnih mašina, u kojima gasovito sredstvo, radi davanja rada struji napolje ili radi proizvodjenja nadpritiska iz hladnog u topli prostor struji kroz toplotni regenerator, pri čemu isti naizmenično prima toplotu od tela koja nagomilavaju toplotu i daje je istima.

Već je češće predlagano, da se u mašinama sa toplim vazduhom i u eksplozivnim mašinama upotrebe regeneratori masa, koji bi za vreme strujanja toplih gasova iz toplog prostora u hladni prostor trebali primiti toplotu iz gasova koji rade i za vreme vraćanja gasova iz hladnog prostora u topli prostor ponovo pati toplotu gasovima. Kod praktičnog izvodjenja mašina sa vrelim vazduhom, naročito kod Rider-ovih mašina, sastojali su se ovi regeneratori ili od metalnih ploča ili od umetaka iz mrežaste žice. Ovi regeneratori nisu se ipak pokazali probitačnim, jer su pri manjem efektu nagomilavanja toplote i vraćanja davali gasovima koji struje srazmerno veliki otpor trenja, tako da su gubitci u pritisku prouzrokovani regeneratorom sasvim prelazili nameravanju uštedu u toplotu. U koliko su dakle mašine sa vrelim vazduhom u opšte našle praktičnu primenu, nije se predvidelo iskorišćavanje toplotnih regeneratora izmedju hladnog i toplog prostora, šta više, docnije su udaljene mašine snabdevene regeneratorima. Eksplozivne mašine sa toplotnim regeneratorima u opšte nisu našle nikakvu praktičnu primenu.

Uzrok rdjavih iskustava dobivenih sa ovim toplotnim regeneratorima treba videti u tome, da se pri proračunu sposobnosti prenošenja toplote izmedju gasa koji struji i zida kanala za srujanje polazi odatle, da uticaj prečnika kanala nije vrlo veliki, a da je znatan uticaj brzine strujanja tako da se povećavanje promene toplote mora povećati kretanje (vidi Gröber „Osnovi sprovoda toplote i prelaza toplote“ Berlin, Julius Springer 1921 strana 204). Zenemario se uticaj sprovodnosti mirujućeg vazduha i verovalo se da su se mogle postići samo pri povećanom kretanju i praktično upotrebljive veličine za koeficient prenošenja toplote. Za ove odnose morao je koeficient prenošenja toplote preći od gasova koji struje na površine, dakle broj kalorija, koji pri razlici temperature od 1° C. na sat prelazi na površinu od $1 m^2$, u opšte trebao se sračunati na osnovu Joule-ovog obrasca

$$1.)\ \alpha = \beta + c\sqrt{w}$$

u kome w označava brzinu strujanja gasa a β kao i c jesu konstante. Za vazduh iznosi $\beta = 4$ a $c = 10$.

Na osnovu novih ogleda postavio je Dr. Nusselt tačniji obrazac, koji uzima u obzir prečnik d kanala, kroz koji struje gasovi kao i pritisak gasa. Prema ovome obrascu je

$$2.)\ \alpha = 18.86 \frac{\lambda w}{d^{0.214}} \left(\frac{w\,Cp}{\lambda}\right)^{0.786}$$

u kome se λw i λ odnose na koeficient sprovodnosti toplote a Cp na specifičnu toplotu gasova pri nepromenljivom pritisku na $1 m^3$.

Din. 30.

Prema oba obrasca se koeficienat prenošenja toplote sa brzinom strujanja gasa, tako da se mora posle toga gledati, da se postignu što je moguće veće brzine strujanja točka.

S druge strane raste pak otpor R na suprot stavljen strujanju gasa u odnosu sa kvadratom brzine strujanja, kao što izlazi iz jednačine

$$3.)\ R = \beta \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g}$$

u kojoj označava β kostantu, l dužinu a d prečnik kanala za strujanje, w brzinu strujanja i g ubrzanje zemljine teze.

Vrednosti sračunate pod ovim okolnostima za l, d i w posmatrane su kao jedino moguće i u slučaju da jedna od ovih vrednosti izgleda neupotrebljiva iz konstruktivnih uzroka poznata su samo tri puta kojima se moglo pribeći: ili se morao uzeti veći gubitak toplote, ili ze dopuštao veći gubitak pritiska, ili se pak zadovoljavalo zagrevanjem manjih količina tečnosti (vidi Gröber strane 209 i 210.).

Kod toplotnih generatora za kalorične mašine dolazi uz to ipak još potreba što je moguće manje štetnog prostora, dakle što je moguće manje zapremine regeneratora. Da bi se usled toga stvorilo što je moguće veće dodirne površine izmedju gasa i regeneratorskog tela i srazmerno malom prostoru, moralo se gledati da se smanje što je više moguće dimenzije kanala za strujanje.

Odnosi takvih regeneratora mogu se lako predstaviti diagramom u fig. 6, u kome je prečnik kanala prenesen na abscisnoj osi.

Pošto iz jednačina 2 i 3b izlazi, da pri povećavanju brzine jače raste otpor, nego koeficijent prenošenja toplote, to će se, da bi se gubitci otpora održali što je moguće manji pri što je moguće većem koeficientu prenošenja toplote, pustiti da struji vazduh sa brzinom, koja je upravo dovoljna da proizvede komešajuće strujanje, dakle sa brzinom kritičnom po prečnik kanala.

Za kritičnu brzinu wk važi jednačina

$$4.)\ Wk = \frac{27.000 \,.\, \eta t}{d \,.\, \delta}$$

u kojoj su ηt i δ konstantne, tako da se obrazac sa

$$5.)\ Wk = \frac{C_1}{d}$$

može uprostiti.

wk ide dakle (Fig. 6) prema ravnostranoj hiperpoli. Pri smanjivanju prečnika kanala vrlo brzo raste dakle kritična brzina odnosno vrednost brzine strujanja koja se upotrebljava, koja dolazi u obzir.

Ako se u jednačini 2 umetne w iz jednačine 5 i sjedine sve konstante i obeleže sa C_2, uprošćava se obrazac za koeficient prenošenja toplote u

$$6.)\ \alpha = \frac{C_2}{d}$$

Kao što izlazi iz fig. 5, pruža se karakteristika koeficienta slično karakteristici kritične brzine.

Dužina kanala l može se izraditi kao funkcija od d iz obeju jednačina, koje izražavaju količinu toplote Q predatu regeneratoru

$$7.)\ Q = d \pi l \alpha \text{ i}$$

$$8.)\ Q = 3600 \frac{d^2 \pi}{4} w\, Cp\, (t_1 - t_2)$$

i to spajanjem sviju nepromenljivih u C_3 dužina kanala u obliku

$$9.)\ l = C_3 \frac{d\, w}{\alpha}.$$

Iz jednačina 5, 6 i 9 izlazi

$$l = C_3 \frac{C_1 d}{C_2}$$

odnosno

$$10.)\ l = C_4 d.$$

Sada se mogu sve količine jednačine 3 izraditi kao funkcije prečnika kanala d

$$R = \frac{\beta}{z\, g} \frac{C_4 d}{d} \frac{C_1^2}{d^2}$$

ili

$$11.)\ R = \frac{C_5}{d^2}$$

odakle izlazi, da se otpor strujanja povećava znatno sa kvadratom cepljivosti, kao što se vidi iz fig. 6 nego koeficient prenošenja toplote.

Rad trenja Qv izražen u toplotnim jedinicama sračunava se iz jednačine

$$12.)\ Qv = \frac{1}{427} 3600 \frac{d^2 \pi}{4} w\, \delta\, R$$

koja se umetanjem d, w i R iz jednačina 6, 5 i 11 i spajanjem nepromenljivih količina uprošćuje u

$$13.)\ Qv = \frac{C\,6}{d}$$

Ako se jednačini 7 vrednosti l i α umetnu iz jednačina 9 odnosno 6 spoje konstante, dobija se za toplotu predatu regeneratoru

$$14.)\ Q = C_7 d$$

Ako se želi da sravni ekvivalent toplote Qv dobitaka u trenju sa količinom toplote Q nadjačanom regeneratorom, dobija se njihov odnos iz jednačina 13 i 14

$$15.)\ \frac{Qv}{Q} = \frac{C\,6}{C_7 d^2} = \frac{C_8}{d^2}.$$

Dakle odnos promenjene toplote i gubitaka, kad je prečnik kanala suviše smanjen, kao

što pokazuje fig. 6, pogoršava se po jednoj hiperboli trećeg stepena; dakle po jednoj krivoj liniji koja se strmo penje u tome.

Iz izvedenih proračuna izlazi, da se sa velikim prečnikom kanala ne može dostići odgovarajući broj prelaza toplote, a pri smanjivanju prečnika pak ističe se sve nepovoljniji odnos izmedju rada trenja i termičnog efekta regeneratora.

Očigledno je dakle da je na osnovu dosadanjeg stupanja tehnike isključeno da se toplotni regenerator upotrebi u kaloričnim mašinama. Moralo bi se dakle bez ikakvog izgleda posmatrati povišenje termičkog dejstva toplotnog regeneratora dotle, da bi isto moglo izvršiti ekonomiji toplote u toplotnim motorima, koja prelazi gubitke pritiska pokretnog sredstva, koji se vrše regeneratorom.

Pronalazak počiva na saznanju, da je smanjivanjem širine proreza za strujanje na regeneratoru do izvesne mere, pri kojoj je skore dovoljna sposobnost sprovodjena toplote ustaljenog ili sa manjom nego kritična brzina strujećeg gasa, dovoljno dobije do sada ne postignuti koeficient prenašanja toplote dakle oko $\alpha = 300$ (za vazduh pri atmosferskom pritisku i pri srednjoj temperaturi, što je slučaj obično kod sredstava za pogon u regeneratorima dakle oko 600—900° C), tako raste koeficient prenašanja toplote sa smanjenjem širine proreza, isto tako kao u prošlom primeru obrnuto proporcionalno sa širinom proreza, a da gubitci usled trenja rastu istovremeno jer brzina strujanja može biti proizvoljno mala, a da usled toga ne utiče na koeficienat prenašanja toplote.

Pri većim širinama proreza dolazi u obzir za prenošenje toplote poglavito baš konvekcija unutarnjih delova preseka kanala prema kanalskim zidovima, tako da se odgovarajuće velikom brzinom strujanja u odnosu na širinu kanala mora voditi računa o tome, da se stvaraju kovitlanja koja privode kanalskim zidovima deliće vazduha koji se nalaze u unutrašnjosti preseka proreza; na suprot tome u ovom slučeju može se zanemariti vrlo rdjava moć prenošenja toplote ustaljenih gasova.

Ako se širina proreza za strujanje vazduha prema pronalasku smanji na pr. ispod vrednosti 0,6, kod praktičnog izvodjenja do 0,06 mm, pa čak i ispod toga, to će količine toplote prenete na zid delićima gasa koji se nalaze na srednjim delovima preseka kanala za jedinicu vremena postati usled moći prenošenja toplote ustaljenog gasa toliko velike, da se može zanemariti konvektivno prenašanje toplote usled kovitlanja. Takav jedan regenerator može se upotrebiti samo u slučajevima u kojim će se po mogućstvu smanjiti gubitci u pritisku, na suprot uskim kanalima za strujanje, jer usled otpadanja potrebe da se nad kritičnom brzinom stvori kovitlanje, gasovi se mogu voditi kroz uske kanale regeneratora sa proizvoljno malom brzinom (kod praktičnih izvodjenja po mogućstvu ispod 5 m/sec, oko 4—3, 5 m/sec nikad preko 20 m/sec) bez obzira na dobro predavanje toplote, tako postaju samo mali otpori trenja, koji malo utiču na stepen dejstva, odnosno postaju gubitci pritiska prouzrokovani otporima trenja.

Razmišljanje dokazuje naime, da se pri širini proreza od prilike 0,5 m uzburkanost strujećeg vazduha ne treba više privući radi povišavanja moći prenašanja toplote, da je čak šta više dovoljna moć sprovodnosti toplote mirnog vazduha, da bi se koeficienat prenašanja toplote α povisio preko 300.

Moć sprovodnosti toplote λ vazduha označuje upravo broj kalorija koje prelaze na 1 sat preko preseka od 1 m² kroz miran sloj vazduha od 1 m jačine pri razlici temperature od 1° C. Vrednost λ za vazduh pod pritiskom jedne atmosfere za sredju temperaturu od 600°, uslovljenu za naš regenerator, iznosi 0,0448. Broj kalorija preko površine od 1 m² za sat pri jačini vazdušnog sloja δ, dakle koeficienat prenošenja toplote ovog vazdušnog sloja iznosi prema tome:

$$16.)\ \alpha = \frac{\lambda}{\delta}.$$

Ako se širina kanala regeneratora u obliku proreza obeleži sa s, to najveća dužina puta vazduha, kroz koji se mora sprovesti toplota, iznosi samo $\frac{s}{2}$, pošto se delići vazduha, koji su u sredini ravni proreza, nalaze na najvećem odstojanju $\frac{s}{2}$ od zidova proreza. Ali pošto svi delići vazduha, koji se nalaze u prorezu (podrazumeva se u miru) ne leže u odstojanju $\frac{s}{2}$ od kanalskog zida, već se odstojanje delića vazduha smanjuje od najveće vrednosti $\frac{s}{2}$ do najmanje 0 (za deliće vazduha koji dodiruju zid kanala), to za prenošenje toplote dolazi u obzir srednja vrednost $\frac{\frac{s}{2} + \frac{0}{2}}{2}$ dakle $\frac{s}{4}$, tako da se u jednačini 16 za δ mora staviti vrednost $\frac{s}{4}$.

Broj kalorija, koje za jedan sat na 1 m² površine zidova razreza prelaze iz vazduha na zidove ili obratno, dakle koeficient prenoše-

njem toplote iznosi za miran vazduh prema tome:

$$\alpha = \frac{\lambda}{s/4}$$

ili

17.) $\alpha = \frac{4\lambda}{s}$

Prelazni broj toplote raste dakle sa opadanjem širine proreza po ravnokrakoj hiperboli (fig. 7).

Odnosi se ne menjaju, ako vazduh, u mesto da miruje, struji kroz prorez tako malom brzinom da postiže podredjeno laminarno strujanje.

Za manje strujanje nego što je laminarno, koje nastupa kritičnom brzinom važi za otpor Poiseuille-ova jednačina za uzane proreze, koju je Becker na sledeći način postavio:

18). $R = \frac{12\,n\,t}{8} \cdot \frac{l}{s^2} \cdot W$

u kojoj r t znači unutarnje trenje u tehničkim jedinicama.

Pošto za dužinu kanala i ovde važi obrazac sličan jednačini 9, to je zamenom α iz jednačine 17).

19). $Z = K_3 S^2 w$

odn. umetnuto u jednačinu 18.

20.) $R = K_4 w^2$.

Islazi dakle, da je otpor nezavizan od prečnika kanala odnosno širine proreza, tako da otpor strujanja ne postavlja nikakve granice smanjenju širine proreza. U svakom slučaju otpor raste sa drugim stepenom brzine strujanja, no ipak je ovo sasvim beznačajno, pošto je koeficient prenošenja toplote prema jednačini 17, nezavisan od brzine, tako da se brzina može proizvoljno smanjiti, dakle toliko, da otpori strujanja prekoračе proizvoljno male, ne baš željene, izabranje granice.

Dakle kao što izlazi iz fig. 7, linija otpora je prava paralelna apscisnoj osi, čije odstojanje od te ose zavisi od brzine strujanja.

Odnos ekvivalenta toplote gubitka usleg trenja za prenesenu količinu toplote $\frac{Q_v}{Q}$ ovde je potpuno nezavisan od širine proreza. Linija ovoga odnosa je dakle, kao što se vidi iz fig. 7, isto tako paralelna apscisnoj osi a odstojanje od te je proporcionalno kvadratu brzine strujanja, kao što će se niže objasniti.

Savladana količina toplote Q je upravo, kad se širina proreza obeleži sa *b*, slična jednačini 7.

$$Q = 2\,b\,l\,\alpha\,\tau$$

odnosno kad se umetnu l i α iz jednačina 17 i 19.

21). $Q = K_5\,b\,s\,w$.

Rad trenja, izražen kaloričnim jedinicama, sličan je jednačini 12.

$$Q_v = \frac{1}{427}\,3600\,b\,s\,w\,8\,R$$

ili sa umetanjem vrednosti za R iz jednačine 20

22.) $Q_v = k_5\,b\,s\,w^3$,

tako da iz jednačina 21 i 22 izlazi za

23). $\frac{Q_v}{Q} = k_6\,w_2$

dakle da je ovaj odnos zbilja nezavisan od širine proreza i izborom proizvoljno male brzine strujanja može se svesti na proizvoljno malu vrednost.

Izboru male brzine strujanja ne stoje na putu ni razmere celog regeneratora, time što se istom prosto da toliki presek, da količina vazduha koja se treba savladati za jedinicu vremena može prostrujati kroz celokupan presek sa izabranom malom brzinom. Ukupna zapremina regeneratora izlazi pri malim širinama proreza suviše mala u prkos celokupnom velikom poprečnom preseku jer kod regeneratora koji radi sa brzinom strujanja manjom od kritične brzine regeneratora sa širinom proreza kao parabola drugog reda (fig. 7), i u toliko je manja, u koliko se uzima brzina strujanja (sravni jednačinu 19.)

Kod regeneratora koji rade sa brzinom strujanja preko kritične, opada doduše dužina regeneratora sa širinom proreza ali samo u linearnom odnosu, kao što izlazi iz fig. 6 i jednačine 10).

Da bi se dobio pojam o stvarnim srazmerama regeneratora različitih širina kanala odn. proreza (računato za preko kritične brzine strujanja), linije u fig. 6 i 7 crtane su u srazmeri i to pod pretpostavkom, da srednja temperatura vazduha iznosi 600° C, pritisak 1 atm., odgovarajuća spec. težina 0,393, specifična toplota pri stalno istom pritisku 0,1022 za 1 m³, moć pronošenja toplote za vazduh 0,0448, razlika temperature izmedju toplog i hladnog kraja 1100° a razlika temperature izmedju vazduha i dela prorezovog zida koji s njime uvek stupa u dodir 15°.

Na apscisnoj osi označava 10 mm. svaki 1 mm prečnika kanala odnosno širine proreza. Za koeficient prenošenja toplote L znači svaki 1 mm ordinate 10 kalorija za m² i sat, a 1 mm ordinate znači 1 m/sek. brzine strujanja. Za otpor 1 mm. ordinate znači 100 m/kg. za kgr. vazduha a za dužinu regeneratora 1 mm ordinate 1 m. U fig. 7 uzeta je brzina strujanja 10 m/sek. a širina vazdušnog proreza za celokupne širine proreza 1 m.

Prelazni broj toplote dakle neće se u smi-

slu pronalaska povisiti time, što će se brzina povećati daleko iznad kritične, već smanjenjem širine proreza do vrednosti, kod koje moć sprovodjenja mirnog radnog sredstva sama daje potreban prelaz toplote.

Kod širine proreza od 0,5 mm biće prema jednačini 17 za vazduh od 1 atm. i 600° srednje temperature

$$L = \frac{4 \times 0{,}0448}{0{,}0005} = 358{,}4$$

Koeficienat prenošenja toplote leži dakle znatno preko naznačene najmanje vrednosti od 300.

Kao što je malo čas napomenuto, brzina se može izabrati proizvoljno mala, a da se time ne utiče na koeficient prenošenja toplote izračunat iz gornjeg obrasca. Pošto kritična brzina vazduha od 1 atm. pritiska iznosi nekoliko stotina m/sek. pri širini proreza od 0,5 mm, to će se neminovno, kod brzina od malo m/sek, deseti laminarno strujanje.

Dužina regeneratora, koji odgovara širini proreza od 0 5 mm. iznosi nekoliko centimetra.

Isti obračun daje, da prelazni broj toplote za širinu proreza od 0,1 mm. iznosi po jednačini 17

$$\alpha = 1792$$

penje se dakle na takvu visinu koja, do sada nije mogla da se uzme u obzir. Dužina regeneratora postaje još manja nego kod širine proreza od 0,5 mm.

Kao što je maločas napomenuto, suviše niska brzina strujanja i minimalna dužina regeneratora čine, da gubitci usled trenja ispadnu vrlo mali, oni su potpuno nezavisni od širine proreza, i njina vrednost, sa inače istim uslovima zavisi samo od brzine strujanja. Gubitak usled trenja za odnose, koji važe za fig 7, za brzinu w = 10 m/sek. iznosi isto toliko za širinu proreza 0,5 mm kao i za širinu proreza 0,1 mm.

R = 874 m/kgr. za kgr. radnog sredstva ili odnos rada trenja za prelaženje toplote regeneratora pri svima širinama proreza izražen kaloričnim jedinicama.

$$\frac{Q\,v}{Q} = 0{,}00714.$$

t. j. gubitci iznose samo 0,7% prelaženja toplote. Na suprot tome pri kovitlajućem strujanju, kao što se vidi iz fig. 6 crtane u razmeri, odnos $\frac{Q\,v}{Q}$ postaje još pri prečniku kanala od 10 mm. 3, 12% i penje se kod prečnika kanala od 1 mm do 312% prelaženja toplote.

Regenerator se gradi izvrsno od tankih lamela. Lamele ne treba da su rasporedjene na hladnoj strani regeneratora u većem odstojanju od 0, 6 mm. zgodno je pak da se ovo odstojanje smanji na 0, 06 mm. a u danom slučaju još i ispod toga pri čemu jačina lamela, koje imaju isti red po veličini, iznosi dakle oko 0,1—0,2 mm. U slučaju da je regenerator sagradjen iz zrna, na pr. od rdjavo toplonosne nesagorljive materije, izmedju kojih postaju kanali za strujanje vazduha, to prečnik zrna mase za punjenje regeneratora ne treba na hladnoj strani da predje 4 mm.

Pošto specifična zapremina gasa raste od hladnog ka toplom kraju regeneratora, to dakle nastupa porast i u brzini i gubitci usled trenja, ali pošto i moć predavanja toplote gasova raste sa temperaturom, može se u cilju smanjenja gubitka usled trenja, širina proreza postepeno povećavati od hladne ka toploj strani regeneratora a da se ne pogorša prenošenje toplote.

Podatke o najvećoj meri širine proreza odnosno veličine zrna treba prema tome razumeti kao srednju vrednost i redukovana na vazduh u normalnom stanju.

S obzirom na zahtev malo škodljivog prostora i malih otpora prostrujavanja, potrebno je da regenerator dobije po mogućstvu malo izduženje u pravcu strujanja. Ali ako se regenerator gradi od metala, tada nastupaju gubitci usled količina toplote koja se prevodi moćju prenošenja toplote metala sa vrele ka hladnoj strani regeneratora. Da bi se ti gubitci potisli, u smislu pronalaska, telo za skupljanje toplote regeneratora obrazuju se iz većeg broja podeoka poredjanim jedno za drugim u pravcu strujanja, odvojenih medju sobom umetnutim tankim slojevima gasa, a broj ovih podeoka u odnosu pada temperature na oba kraja regeneratora toliko je veliki, da je pad temperature u unutrašnjosti jednog podeoka praktički ravan nuli, odn. da razlika srednje temperature dvaju uzastopnih podeoka regeneratora iznosi manja od 20° C.

Ovom obilnom podelom pak regeneratora u sasvim kratke delove sa uklještenim umetcima vazduha znatno će se smanjiti koeficient prenošenja toplote kod niskih brzina strujanja, koje iznose mali deo kritične brzine.

Poznato je naime, da kad gasovi ulaze iz nekog prostora sa još tako malom brzinom u neki ograničeni kanal, tada na mestu ulaza postaju kovitlanja koja iščezavaju tek na izvesnoj tako zvanoj umirujućoj dužini, da bi načinila mesta laminarnom strujanju. Usled ovih kovitlanja raste koeficient prenošenja toplote u unutrašnjosti umirujuće dužine znatno iznad vrednosti uslovljene čistom moći prenošenja. Ako su sada pojedini podeoci regeneratora toliko kratki, da nisu duži od umirujuće dužine, i ako se izmedju pojedinih podeoka ostave vazdušni prorezi, koji prelazno

povećavaju presek strujanja vazduha, tada pri svakom ulasku u sledeći podeok nastaje nanovo umirujuća dužina, tako da u prkos maloj brzini strujanja ne može doći do laminarnog strujanja. Pošto umirujuća dužina opada istovremeno sa širinom proreza, to treba podeoke skratiti na pr. kod širine proreza od 0,1 m od prilike 2 mm.

Povećanje koeficienta prenošenja toplote ovom podelom omogućava postići isti koeficient prenošenja toplote sa većom širinom proreza, no što bi to bilo moguće kod regeneratora nepodeljenog u dužini. Tako na pr. koeficient prenošenja toplote od 300 može se postići kod ovako kratkih podeoka skoro sa širinom proreza od 1 m. m.

Ovo *naknadno* povećavanje koeficienta prenošenja toplote, koje postaje usled kovitlanja umirujuće zone, ipak nije nezavisno od brzine strujanja, već raste sa njome.

Kad je regenerator izveden od tankih traka on se ispunjuje ispravno postavljenim trakama u pravcu strujanja gasa, čija je jačina istog reda po veličini kao širina proreza, na taj način, da izmedju medjusobno paralelnim slojem traka postaju osigurani prorezi vazduha naročitim razmaknutim delovima ili razmacima sagradjenim samim trakama, pri čemu je poredjan jedno za drugim izvesan broj takvih pljosnatih tela, koja ispunjavaju slobodan presek regeneratorskog omotača ostavljanjem vazdušnih proreza.

Kao materijal za regenerator dolazi u obzir u prvom redu kvarc, nikel, kobalt ili njihove legure, pošto su opiti pokazali, da su za ovo najpodesniji ovi metali. Ipak razni podeoci regeneratora mogu se graditi od različitog materijala. Tako bi se mogli sagraditi podeoci izloženi najvećim temperaturama na pr. od tankih kvarcovih lamela, idući podeoci od nikla i idući podeoci od bakra, ili, od drugog metala ili legure.

Na nacrtu su pokazana nekoliko primera izvodjenja regeneratora koji se sastoje od traka.

Sl. 1 pokazuje jedan deo regeneratora izvedenog od paralelnih pravih traka u izgledu spreda.

Sl. 2 isti regenerator u preseku po liniji 2—2 sl. 1.

Regenerator predstavljen u ovim slikama sastoji se iz tankih, pravih metalnih pantljika 1 sa od prilike oko 0,1 mm debljine, koje imaju širinu *(a)* od prilike 2—3 mm i koje su ulegnute u žljebove 2 rdjavo toplonosnog okvira 3 — pomoću umetnutih traka 4 jačine 0,06 mm. koje osiguravaju razmak pantljika 1 na taj način da u svakom žljebu okvira postaje roštilj sa vrlo uskim 0,06—P, 4 mm. širokim prorezima, koji su ograničeni paralelnim zidovima. U okviru 3, kao što se vidi iz sl. 2, poredjano je jedno za drugim veliki broj ovakvih roštilja, tako da su pojedini roštilji izmedju sebe odvojeni tankim oko 0,06—1 mm. debelim slojevima vazduha 5. Gasovi struje kroz roštilje regeneratora naizmenično u pravcu strelice 6 i 7.

Time, što roštilji obrazovani pojedinim podeocima regeneratora imaju u pravcu strujanja gasa dužinu *(a)* od samo malo milimetara, umirujuća zona prostire se najmanje preko jednog celog podeoka regeneratora. Po izlasku iz proreza jednog podeoka dobije gasna struja proširenje preseka u prorezu 5, tako da pri prelazu u nov podeok počinje nova umirujuća zona. Usled ove okolnosti može se koeficient prelaženja toplote popeti znatno iznad vrednosti $\frac{4\tau}{s}$ čak i pri brzinama strujanja, koja iznose mali deo kritične, čime se gornja granica širine proreza za najmanju vrednost koeficienta prenošenja toplote 300 može isturiti na 1 mm. Sem toga pad temperature u jednom podeoku je praktički nula i pri maloj ukupnoj dužini regeneratora moguće ga je podeliti u toliko veliki broj podeoka, da s jedne strane gubitci u toploti, koji se prouzrokuju odvodom sa vrelog ka hladnom delu regeneratora, mogu dostići najmanju meru, a s druge strane razlike temperature izmedju dva uzastopna podeoka regeneratora iznosi svega nekoliko stepeni tako da se razlika izmedju temperature gasa, koji struji kroz regenerator, i dela regeneratora, koji stupa svagda sa njime u dodir u oba pravca strujanja, može potisnuti na tako nisku meru, da zbog njega ne mogu postati nikakvi nedopušteni gubitci u toploti.

Za osiguranje širine proreza izmedju pojedinih položaja metalnih traka 1 mogu u mesto naročitih komada za odstojanje služiti i proizvoljni delovi za odstojanje koji ispadaju iz samih traka.

Sl. 3 na pr. pokazuje kako se prorez 9 izmedju pojedinih položaja metalnih traka 1 mogu u mesto naročitih za odstojanje služiti i proizvoljni delovi za odstojanje koji ispadaju iz samih traka.

Sl. 3 na pr. pokazuje kako se prorez 9 izmedju pojedinih položaja metalnih traka 1 može osigurati bradavicama 8 ili sličnim njima, koje ispadaju iz same trake.

Roštilji koje obrazuju pojedini podeoci regeneratora, daju se sagraditi na vrlo lak način time, što se od jedne tanke i uske metalne trake uvije spirala 10 (sl. 4), a osiguraju se odstojanja izmedju pojedinih hodova spirale za potrebnu širinu proreza.

Za obrazovanje regeneratora odgovarajući

veliki broj ovakvih pljosnatih spirala, na pr. 100 spirala svaka po 2 mm. širine sa umetkom komada za rastojanje na pr. tanke žice (oko 0,1 mm. debljine), i poredja se jedno za drugim u kutiju, koja je rdjavi toplonoša.

Sl. 5 pokazuje uzdužni presek takvog jednog regeneratora. U kutiji 3 od u vatri postojanog za toplotu rdjavo prenošenog materijala poredjane su spirale 10 ili po sl. 2 okviri 3 tako, da izmedju pojedinih spirala ili okvira 5 postaju vazdušni umetci.

Hladni gasovi struje kroz regenerator u pravcu strelice 6 a topli pravcem strelice 7, čime se usijavaju odnosno rashladjuju.

Iz sl. 5 vidi se, da presek regeneratora od hladnog dela 11 njegovog ka toplom delu lagano raste, da bi dozvolio da i širine proreza u pojedinim podeocima regeneratora rastu u istom smislu. Ovim se postigne najmanji otpor strujanja pri najboljoj moći primanja ili izdavanja toplote. Takav jedan regenerator može se izvesti sa širinom proreza od 0,1 mm. na taj način, što širina proreza iznosi na hladnom delu na pr. samo 0, 1 mm a na toplom delu lagano raste na 0,22 mm. Ovde će se pri srednjem pritisku vazduha od 1 atm. i brzini strujanja od w = 3,6 m/sec. postići koeficient prenošenja toplote $\alpha = 1448$. Pri padu temperature od 1000° C izmedju hladne i tople pritiska gasa ne iznosi više od 250 kg/m na m³ a razlika temperature izmedju gasa i delova regeneratora, koji s njime dopiru u dodir, ostaje ispod 5° C.

PATENTNI ZAHTEVI:

1). Toplotni regenerator masa za kalorične mašine, naznačen time, što je prosečna dužina kanala za strujanje vazduha ili prorez tela za nagomilavanje toplote tako mali, da je prosečna moć prenošene toplote ustaljenog (odn. sa manjom brzinom od kritične), strujećeg gasa dovoljna, da pri atmosferskom pritisku i običnoj srednjoj temperaturi regeneratora (600°—900°) popne koeficient prenošenja toplote preko 300.

2). Toplotni regenerator masa, prema zahtevu 1, naznačen time, što prosečna širina kanala za strujanje vazduha ili prorez tela za nagomilavanje toplote, ne odnosi više od 0,6 mm.

3). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, naznačen time, što prečnik zrna tela za nagomilavanje toplote, koji se sastoji od zrnevlja, ne iznosi više od 4 mm.

4). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, naznačen time, što je njegovo telo za nagomilavanje toplote obrazovano od velikog broja podeoka poredjanih jedno za drugim u pravcu strujanja gasa, odvojenih izmedju sebe umetnutim slojevima gasa, i čiji je broj u odnosu pada temperature izmedju oba kraja regeneratora tako veliki, da pad temperature u unutrašnjosti jednog podeonika iznosi praktički nulu, odnosno razlika srednjih temperatura dvaju uzastopnih podeoka regeneratora ne iznosi više od 20° C.

5). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1 ili 2 odnosno 3 i 4, naznačen time, što širina proreza regeneratora lagano raste od hladnog ka toplom delu njegovom.

6). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, naznačen time, što ukupan presek regeneratora lagano raste od hladnog ka toplom kraju njegovom.

7). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1 i 2 naznačen time, što je on ispunjen tankim trakama poredjanim nasatice u pravcu strujanja gasa, čija je jačina redja, po istom redu veličina kao širina proreza na taj način, što izmedju pojedinih medjusobno paralelna položaja pantljika ostaju vazdušni umetci osigurani naročitim delovima za rastojanje ili delovima koji ispadaju iz samih pantljika, pri čemu je izvesan broj pljosnatih tela, koja ispunjuju slobodan presek regeneratorove kutije poredjan jedno za drugim sa ostavljenim umetcima vazduha.

8). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, 4 i 7 naznačen time, što se njegovi pojedini podeoci sastoje ir prvih pantljika medjusobno paralelno jedna preko druge poredjane u slojeve sa umetnutim delovima za odstojanje, poredjanih jedno za drugom sa umetanjem delova za odstojanje u uzdužnom pravcu odnosno pravcu strujanja regeneratora.

9). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, 4 i 7 naznačen time, što se pojedini podeoci regeneratora sastoje se iz pljosnatih spirala od metalne pantljike izmedju čijih je pojedinih hodova prorez za strujanje gasa osiguran delovima za odstojanje.

10). Toplotni regenerator masa prema zahtevu 1, 2, 7, 8 ili 9, naznačen time, čto se podeoci tela za nagomilavanje toplote koji se nalaze na toploj strani regeneratora ili blizu nje, sastoje iz kobalta, ili nikla ili njegovih legura ili čak i od tankih kvarcovih ploča.

Ad patent broj 2625.

Fig. 1.

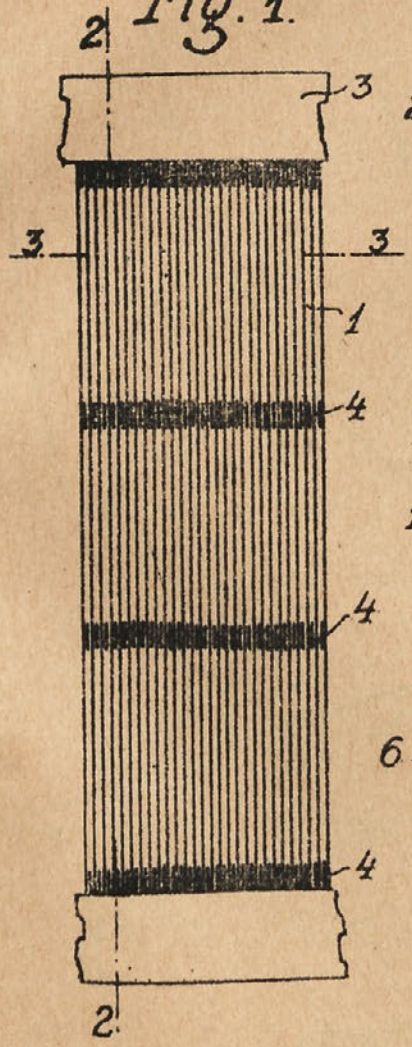


Fig. 2.

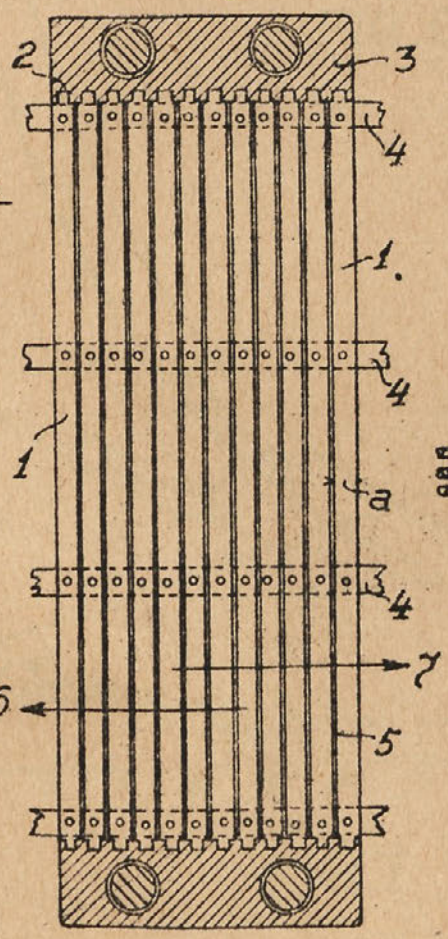


Fig. 3.

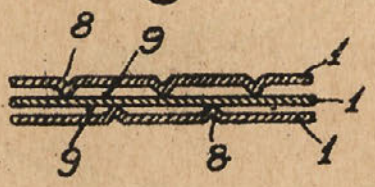


Fig. 4.

Fig. 5.

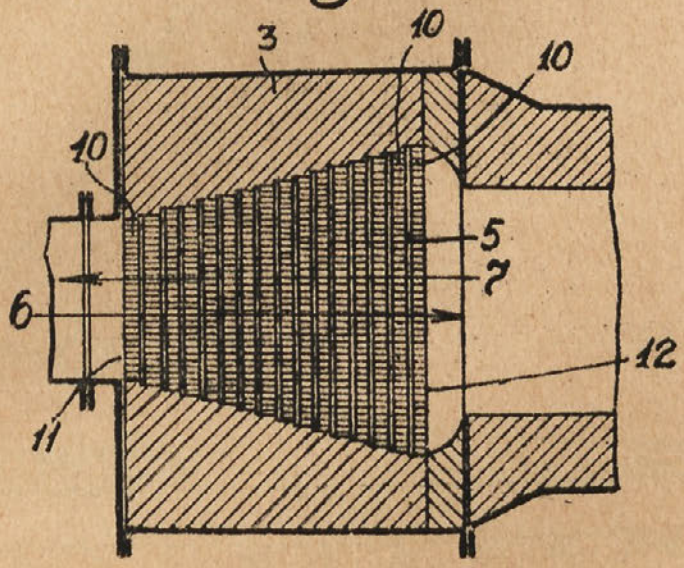


FIG. 6.

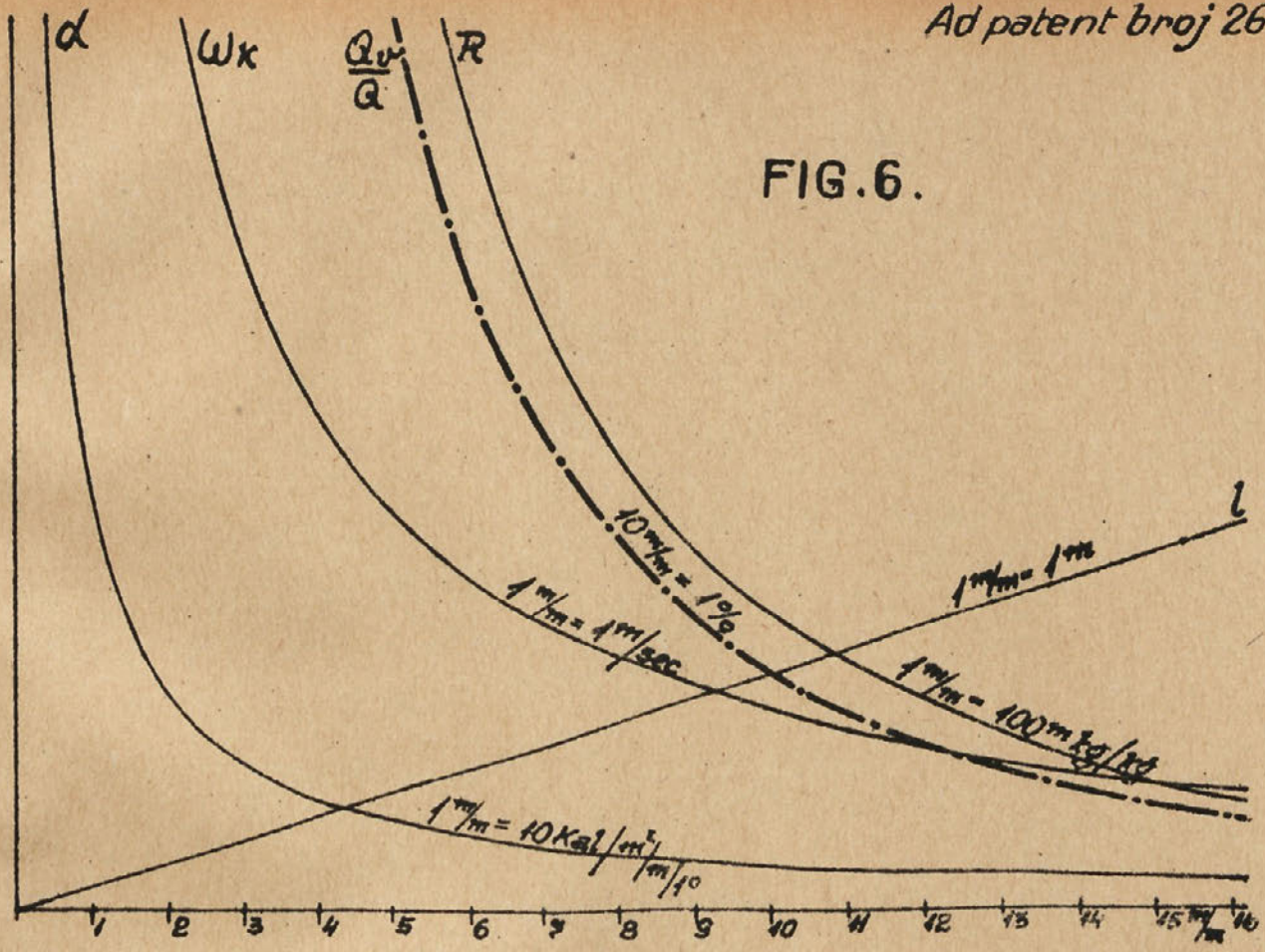
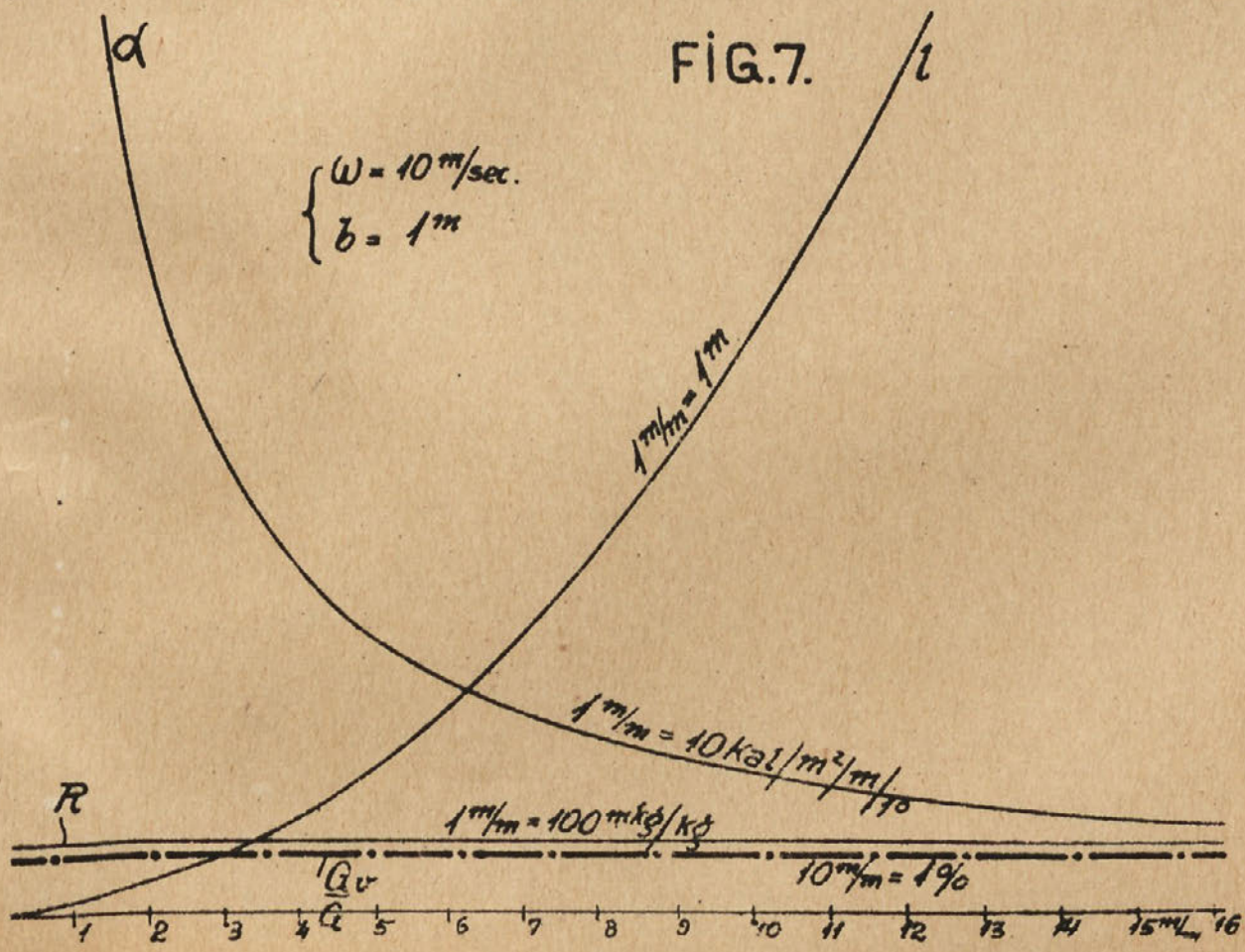

α
Wk
Qv/Q
R
l
10 m/m = 1%
1 m/m = 1 m
1 m/m = 1 m/sec.
1 m/m = 100 m kg/kg
1 m/m = 10 Kal/m²/m/10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m/m 16

FIG. 7.


α
l
w = 10 m/sec.
b = 1 m
1 m/m = 1 m
1 m/m = 10 Kal/m²/m/10
R
1 m/m = 100 m kg/kg
Qv/Q
10 m/m = 1%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m/m 16