

ČADA (čad, gar), fino dispergirani ugljik koji nastaje raspadom organskih tvari, najčešće pri njihovu nepotpunom izgaranju. *Tehnička (industrijska) čada* (engl. *carbon black*) proizvodi se iz plinovite faze termičkim raspadom plinovitih i tekućih ugljikovodika na pogodno konstruiranim uređajima uz strogo određene uvjete rada. Industrijske čade proizvodi se cijeli niz različitih vrsta, koje se zbog svojih specifičnih svojstava najviše upotrebljavaju kao pojačavajuća punila u industriji gume i kao crni pigment u industriji boja i lakova, ali su našle primjenu i u nizu drugih industrija.

Čadu su dobivali još stari Kinezi i Egipćani nepotpunim sagorijevanjem smola, masti i ulja ispod šupljih keramičkih čunjeva okrenutih vrhom naniže i upotrebljavali je za pripremu tuševa i boja za keramiku. Industrijska proizvodnja čade nije starija od stotinjak godina, a realizirao ju je I. K. Wright, štampar iz Filadelfije. Prvo postrojenje za proizvodnju čade iz zemnog plina bilo je podignuto u New Cumberlandu, Zap. Virginija, po patentu Johna Howartha 1872. God. 1892 L. J. McNutt patentirao je proizvodnju čade po tzv. «kanalnom» postupku i prvo postrojenje po njemu bilo je podignuto u Pensilvaniji. — Do 1914 čada se uglavnom upotrebljavala kao pigment u industriji boja i lakova. Primjena čade u proizvodnji gume uslovia je da se kanalni postupak sve više usavršavao i da se proizvodnja čade jako razvila, i to isprva uglavnom u USA, a kasnije i u drugim zemljama gdje je postojalo izobilje zemnog plina (SSSR, Rumunija). Kad su u USA izgrađeni plinovodi za zemni plin, ovaj je postao pristupačan za druge industrijske primjene na mjestima udaljenim od njegovih izvora i poskupio je; stoga su traženi novi postupci dobivanja čade kojima bi se sirovina bolje iskorištavala nego u kanalnom postupku. God. 1916 patentirao je R. H. Brownlee postupak za proizvodnju termičke čade pećnim diskontinuiranim procesom, a prva komercijalna proizvodnja ove čade ostvarena je 1922 u Louisiani, gdje se je čada dobivala kao nusprodukt u proizvodnji vodika za sintezu amonijaka. God. 1922 Matlock je patentirao postupak za proizvodnju čade po plinskom kontinuiranom pećnom procesu, a prvo postrojenje je bilo podignuto 1928, također u Louisiani. Ovaj postupak naročito se razvio za vrijeme drugog svjetskog rata zbog toga što je ova čada bila naročito pogodna za primjenu u sintetskom kaučuku. Krajem 1943 uveo se u proizvodnju kontinuirani uljni pećni proces koji su kasnije još više usavršili neki od najpoznatijih američkih proizvođača čade. Ovaj postupak omogućuje primjenu manje vrijednih tekućih ostataka od prerade nafte i čini lociranje postrojenja za proizvodnju čade manje zavisnim od lokacije izvora plina iz nafte. Po američkim licencijama izgrađeno je u SR Njemačkoj, Italiji, Holandiji, Belgiji, Jugoslaviji, Kanadi, Australiji, Indiji, Japanu itd. više tvornica koje rade tim postupkom. U posljednje vrijeme primjećuje se i u SSSR napredak u proizvodnji industrijske čade pećnim uljnim postupkom.

Klasifikacija čada. Prema upotrijebljenoj sirovini čade se dijele na *plinske* čade, *uljne* čade i *acetilensku* čadu, a prema proizvodnom postupku na *taložne* i *pećne*.

Po pojačavajućim svojstvima u gumi jedna starija podjela čade razlikuje *aktivne*, *poluaktivne* i *inaktivne* čade. Da bi se potrošači i proizvođači mogli snaći u velikom broju kvaliteta i naziva čada, američki War Production Board uveo je za čade namijenjene primjeni u industrijama gume i boja klasifikaciju koja se još i danas najviše upotrebljava (tabl. 1 i 2). Ovaj sistem klasifikacije osnovan je s jedne strane na načinu proizvodnje a s druge strane na svojstvima čade i njezinom ponašanju pri primjeni u preradi gume i u bojama. Za pojedine čade uvedeni su simboli (oznake) u vidu slova, pri čemu prvo i drugo slovo označavaju djelovanje čade u gumi ili boji, a treće slovo način proizvodnje. Pojavom novih vrsta čade ovaj se sistem oznaka od strane proizvođača i potrošača samovoljno nadopunjava (npr. HAF-LS, SRF-HM itd.), a za neke vrste čada (npr. za boje) i samo variranje sadržaja hlapljivog ili nasipne težine može usloviti drugačiju oznaku. Danas gumar i bojadisar ima na raspolaganju oko 30 definiranih

vrsta čade, koje se prodaju pod oko 250 trgovačkih naziva i koje proizvodi više od 40 samostalnih proizvođača.

PROIZVODNJA ČADE

Proizvodnja čade zasniva se na raspadanju ugljikovodika djelovanjem visoke temperature. Mada mehanizam stvaranja čade nije potpuno razjašnjen, općenito se uzima da početno raspadanje nastaje krekanjem i dehidrogenacijom ugljikovodika, što ima za posljedicu stvaranje vrlo sitnih jezgara elementarnog ugljika. Jedan dio nastalih jezgara pri prolazu kroz reakcijsku atmosferu oksidira se i tako uništi; drugi dio nastavlja s rastom tako da u nekoliko hiljaditih dijelova sekunde od jezgara postanu čvrste kuglaste čestice određene veličine i kristalne strukture. Što je veći broj momentalno stvorenih jezgara ugljika to su čestice čade manje. Od pogodnog oblikovanja i vođenja procesa zavisi, dakle, iskorištenje sirovine i kvalitet produkta.

Sirovina za proizvodnju čade u principu može biti bilo koja tvar koja sadrži ugljik. Međutim, zahtjevi ekonomičnosti i rentabilnosti prerade sveli su izbor sirovina na mali broj lako pristupačnih ugljikovodika s relativno velikim sadržajem ugljika. Osim toga, izbor sirovine je ograničen time što neki metali (Cu, Fe, Mn) koji mogu preći iz sirovine u čadu već u malim količinama djeluju štetno na svojstva u njezinoj primjeni. Poboľšanim procesima proizvodnje omogućeno je iskorištavanje i nekih sirovina koje sadrže manje ugljika a za preradu po stariim procesima proizvodnje bile su ekonomski nepođodne. Glavne sirovine za proizvodnju čade jesu zemni plin, aceten i tekući produkti prerade nafte (ulje). U manjoj mjeri upotrebljavaju se tekući produkti prerade ugljena i koksni ili rafinerijski plin.

Zemni (prirodni) plin je dugo vrijeme bio osnovna sirovina za proizvodnju svih vrsta čade. Upotrebljava se kako mokri plin koji prati eksploataciju sirove nafte na naftonosnim poljima tako i suhi plin iz plinskih bušotina. Na kvalitet plina ne postavljaju se naročiti zahtjevi. Poželjan je što veći sadržaj ugljika i veća ogrjevna moć.

Koksni plin i rafinerijski plin našli su upotrebu tamo gdje nema dovoljno prirodnog plina (u Njemačkoj, Poljskoj itd.). Zbog manjeg sadržaja ugljika u plinu, iskorištenja na čadi su razmjerno niska, tako da je upotreba ovih sirovina danas vrlo rijetka. Obično se upotrebljavaju u smjesi s parama tekućih ugljikovodika za proizvodnju čade iz antracenskog ulja ili, zbog njihove velike ogrjevne moći, za održavanje potrebne temperature u reaktorima.

Aceten se upotrebljava za proizvodnju acetilenske čade specifičnih svojstava.

Produkti prerade nafte upotrebljavaju se kao sirovina za proizvodnju čade sami ili u kombinaciji s plinovitim ugljikovodicima. Kao sirovina za proizvodnju čade oni treba da budu visokoaromatični, da imaju određene destilacijske granice, da ne sadrže mnogo asfaltna ni sumpora. Visoka aromatičnost karakterizira

Tablica 1

KLASIFIKACIJA I PRIMJENA ČAĐA U INDUSTRIJI GUME

Oznaka	Opis	Sirovina	Primjena
EPC	Easy Processing Channel Lako preradljiva kanalna	Zemni plin	Za izradu gazećih površina iz prirodnog kaučuka koje treba da izdrže teške uvjete rada, za izradu tehničke robe, donova itd.
MPC	Medium Processing Channel Srednje preradljiva kanalna	"	" "
HPC	Hard Processing Channel Teško preradljiva kanalna	"	Za izradu gazećih površina autoguma od prirodnog i sintetskog kaučuka, razne tehničke gumene robe (transp. traka, omotača kabela, donova itd.)
FF	Fine Furnace Fina pečna	Zemni plin ili zemni plin + ulje	Za izradu pojedinih dijelova skeleta autoguma, razne tehničke robe i obuće
HMF	High Modulus Furnace Visokomodulna pečna	"	" "
SRF	Semi Reinforcing Furnace Polupojačavajuća pečna	"	Za izradu skeleta autoguma, razne tehničke robe, gumene obuće. Često se upotrebljava sa čadom EPC
SAF	Super Abrasion Furnace Superabrazivna pečna	Ulje	Za izradu gazećih površina autoguma i ostalih gumenih proizvoda koji treba da izdrže najteže uvjete pri radu i upotrebi
ISAF	Intermediate Super Abrasion Furnace Srednje superabrazivna pečna	Ulje	" "
HAF	High Abrasion Furnace Visokoabrazivna pečna	Ulje	Najviše upotrebljavana vrsta čađe naročito za izradu gazećih površina i ostalih gumenih proizvoda gdje je potrebna velika žilavost i otpornost na trošenje. Upotrebljava se i sa čadom EPC
FEF	Fast Extruding Furnace Brzo izvlačiva pečna	Ulje ili ulje + zemni plin	Za izradu skeleta i bočnih strana autoguma, zračnica od butilkaučuka, za izradu gumene robe kod koje se traže tačne dimenzije, glatkoća površine i tačni rubovi kod izvlačenja i kalupovanja
GPF	General Purpose Furnace Opće upotrebe pečna	Ulje ili ulje + zemni plin	Za izradu skeleta bočnih strana autoguma, gumene tehn. robe, donova itd.
FT	Fine Thermal Fina termička	Zemni plin	Za izradu zračnica od prirodnog kaučuka, gornjih dijelova obuće, razne tehničke presovane robe, za omotače žica i kablova
MT	Medium Thermal Srednja termička	Zemni plin	Za izradu omotača žica i kabela, tehničku robu, obuću, cijevi i robu najprostije izrade
LB	Lamp Black Lampna čađa	Ulje	" "
CF	Conductive Furnace Provodljiva pečna	Ulje ili ulje + zemni plin	Za izradu gumene robe sa antistatičkim i elektro-provodljivim svojstvima
CC	Conductive Channel Provodljiva kanalna	Zemni plin	" "

rana je niskim odnosom H/C. Ugljikovodici treba da se sastoje od što više kondenziranih nezasićenih spojeva prstenaste strukture sa nezasićenim kratkim bočnim lancima. Destilacijske granice treba da su (preračunate na pritisak od 760 mm Hg) 250 °C (donja) i 450 °C (gornja). Srednja tačka ključanja obično iznosi 290...360 °C. Sadržaj asfaltena smije biti najviše 10%, sadržaj sumpora najviše 2%.

Svi teški ostaci prerade nafte i njezinih derivata mogu služiti kao sirovine za proizvodnju čađe (ložno ulje, mazut itd.). Međutim, dobra sirovina za proizvodnju čađe može se u količinama dovoljnim za podmirenje današnje velike potražnje dobiti samo sekundarnim postrojenjima kojima se teški međuprodukti prerade nafte (ostaci vakuum-destilacije, termičkog i katalitičkog krekninga, solventne ekstrakcije itd.) preraduju radi koncentraci-

Tablica 2

KLASIFIKACIJA I PRIMJENA ČAĐA U INDUSTRIJI BOJA

Oznaka	Opis	Sirovina	Primjena
HCC	High Color Channel Visoko bojadišuća kanalna	Zemni plin	Za izradu automobilskih lakova i visokovrijednih emajla i uopće najkvalitetnijih boja
MCC	Medium Color Channel Srednje bojadišuća kanalna	"	Za proizvodnju manje vrijednih emajla i boja
LCC	Low Color Channel Nisko bojadišuća kanalna	"	Za izradu jeftinih boja i emajla
LFC	Long Flow Channel Visoko fluidna kanalna	Zemni plin	Za proizvodnju vrlo tekućih boja za litografski tisak
MFC	Medium Flow Channel Srednje fluidna kanalna	"	Za proizvodnju srednje tekućih boja za litografski tisak
RCC SCB	Regular Color Channel Standard Color Black	" "	Za proizvodnju novinskih boja i boja za dubokotisak kao i za jeftine premaze. Pod ovim oznakama podrazumijevaju se standardne čađe za gumu
LFF	Long Flow Furnace Visoko fluidna pečna	Ulje	Za litografske boje u smjesi s LFC
MF	Medium Flow Furnace Srednje fluidna pečna	Ulje	Za proizvodnju jeftinijih litografskih boja i novinskih boja
RCF	Regular Color Furnace Standard Color Black	Ulje	Za proizvodnju novinskih boja i boja za dubokotisak, za litografske boje u smjesi sa LFF, za premaze različitih kvaliteta itd.

je u njima aromatskih spojeva željene strukture. Ponekad se neki od navedenih međuprodukata upotrebljavaju i izravno za proizvodnju čađe, ali za veću potrošnju nisu raspoloživi u dovoljnim količinama s traženim kvalitetima. Tekući produkti prerade nafte danas su najviše upotrebljavana sirovina za proizvodnju čađe.

Tekući produkti prerade ugljena zbog visoke cijene i malih raspoloživih količina upotrebljavaju se samo u ograničenim količinama. Po svom sastavu to su visoko aromatični ugljikovodici s velikim sadržajem ugljika. Za proizvodnju čađe najčešće se upotrebljavaju generatorski katran i pojedini derivati destilacije katrana (naftalin i antracensko ulje).

Postupci dobivanja čađe

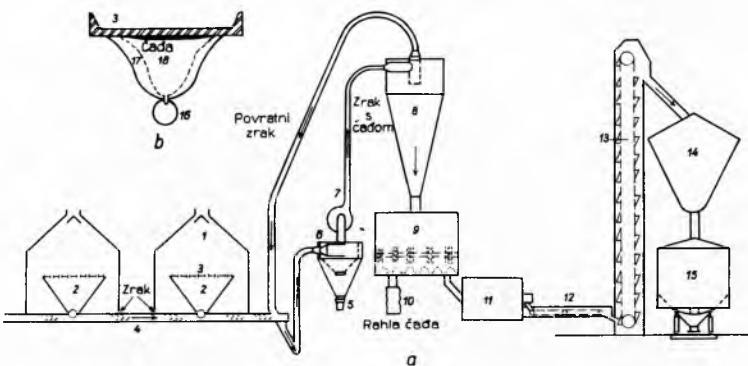
Za proizvodnju čađe upotrebljavaju se, u različitim modifikacijama, dva osnovna postupka: taložni postupak i pećni postupak.

Taložni postupak je do 1940 dominirao na području proizvodnje čađe, ali se sada postepeno napušta. U ovom postupku plinovodni ugljikovodici ili pare tekućih ugljikovodika nepotpuno sagorijevaju iznad posebno oblikovanih sićušnih plamenika i njihov se plamen zatim »sudara« s hladnim pokretnim metalnim površinama na kojima se čađa taloži i strugačem odstranjuje.

Postrojenja koja primjenjuju ovaj postupak izgrađena su većinom na plinonosnim poljima i koriste se zemnim plinom koji se ne može transportirati i preradivati u druge svrhe. Ovakva postrojenja mogu se vrlo jednostavno i brzo demontirati i preseliti na druga plinonosna polja, pa se stoga nazivaju i pokretne čađare. Najveći proizvođač čađe ovim postupkom su USA. U Evropi ovaj postupak se primjenjuje u Njemačkoj, SSSR, Rumuniji, Poljskoj i Čehoslovačkoj.

Prema obliku taložne površine razlikuje se nekoliko modifikacija ovog postupka: kanalni proces, proces s bubnjem i proces s diskom.

Kanalni proces (chanel process, sl. 1) je najrašireniji i njime se proizvodi ~ 98% ukupne količine čađe proizvedene taložnim postupkom. U nekoliko stotina limenih kućica (»vrućih komora«),



Sl. 1. Kanalni proces proizvodnje čađe. a Tehnološka shema procesa, b plamen; 1 komora, 2 proizvodnja i skupljanje čađe, 3 čelične trake — kanali, 4 transporter, 5 izlaz grita, 6 pneumatski separator, 7 ventilator, 8 ciklon, 9 agitator, 10 pakovanje rahle čađe, 11 bubanj za granulaciju, 12 transporter, 13 elevator, 14 spremnik, 15 vagon za čađu u rasutom stanju, 16 cijev s plamenicima, 17 zona potpunog sagorijevanja, 18 zona nepotpunog sagorijevanja

od kojih je svaka duga 35...45 m, široka 3...4 m i visoka ~ 3 m, nalazi se po 2000 do 4000 plamenika iznad kojih je smješten određeni broj čeličnih traka, širine 15...25 cm, koje se kreću 2,5 m naprijed-nazad brzinom 0,3...0,6 m/min. Plamenici su izrađeni od steatita, na svom vrhu mogu imati otvore različite veličine i oblika, tako da se prilikom izgaranja mogu stvoriti plameni (sl. 1b) različita oblika i visine. Udaljenost između plamenika i taložne metalne površine varira između 5 i 10 cm. Prema vrsti sirovine mora se, radi dobivanja kvalitetne čađe s dobrim iskorištenjem, izabrati pogodan oblik plamena i pogodna udaljenost od taložne površine. Plamenici gore neprestano dan i noć. Količina zraka potrebna da bi se podržalo sagorijevanje regulira se preko više otvora smještenih pri dnu komore, a sagorjevni plinovi odlaze kroz otvore na vrhu svake komore. Taložena čađa skida se sa metalnih površina fiksno učvršćenim strugačima i pada u

pužni transporter koji je prenosi u odjeljenje za doradu i pakovanje. 15...20% čađe odlazi u atmosferu sa sagorjevnim plinovima, pa se iznad takvih postrojenja uvijek nalazi oblak crnog dima. Ovim procesom mogu se dobiti čađe vrste EPC, MPC, HPC, CC, LCC, RCC i SCB.

Proces s bubnjem (roller process) upotrebljava plamenike posebnog oblika a kao taložnu površinu željezne bubnjeve promjera 25 cm i dužine 1,2 m. Bubnjevi se polagano okreću i na taj način izlažu taloženu čađu zraku i naglo je hlade. To ima za posljedicu da se prekida reakcija rasta čestica čađe i da se brzo kemijski veže kisik iz zraka, tako da takve čađe mogu sadržati na svojoj površini i do 20% kisika. Ovim procesom mogu se dobiti čađe vrste HCC, MCC, LCC, LFC, MFC i RCC. Proces s bubnjem sve se više napušta zbog male ekonomičnosti.

U tridesetim godinama ovog stoljeća razvila se najprije u Čehoslovačkoj a zatim u Njemačkoj i Poljskoj jedna modifikacija ovog procesa koja upotrebljava kao sirovine tekuće derivate katrana (naftalin, antracensko ulje itd.), same ili u smjesi s koksnim i rafinerijskim plinom. Tekući ugljikovodici se prethodno ispare u isparivačima i zatim spaljuju na malim plamenicima. Čađa se taloži na bubnjevima koji se sporo okreću (jedan okretaj za 15...20 minuta). Obično je 150...170 takvih bubnjeva paralelno smješteno u metalnom plaštu duljine ~ 30 m.

Proces s diskom (disc process) upotrebljava plamenike lepezastog oblika, a kao taložnu površinu željezne diskove promjera 0,8 do 1 m. Iskorištenje sirovine i kvalitet čađe slični su kao u procesu s bubnjem. Proces s diskom danas je gotovo sasvim napušten.

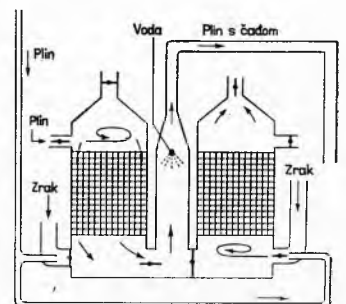
Pećni postupak za vrijeme drugog svjetskog rata i nakon rata se naročito razvio i usavršio, tako da danas pojedine modifikacije ovog postupka dominiraju na području proizvodnje čađe. U ovom postupku ugljikovodici nepotpuno sagorijevaju, odn. termički se raspadaju u posebno konstruiranim pećima (reaktorima) pod tačno određenim i kontroliranim uvjetima rada. Kao sirovina najčešće se upotrebljavaju zemni plin i teški produkti prerade nafte, ali se mogu upotrebljavati i drugi plinoviti i tekući ugljikovodici.

Zavisno od načina proizvodnje razlikuje se nekoliko modifikacija ovog postupka: lampni, termički, plinski kontinuirani i uljni kontinuirani proces.

Lampni proces je najstariji proces proizvodnje čađe i danas je skoro potpuno napušten zbog niskog kvaliteta čađe i zbog neekonomičnosti proizvodnje. Kao sirovina upotrebljavaju se sporedni produkti prerade katrana i teški ostaci od prerade nafte. Oni se u otvorenim metalnim tavama promjera 0,7...1,5 m i dubine 0,15...0,30 m spaljuju s nedovoljnom količinom zraka, koja se regulira dizanjem i spuštanjem poklopca iznad tave. Sirovina na perifernom dijelu posude potpuno sagorijeva dok u središnjem dijelu ona se intenzivno isparava i uslijed visoke temperature raspada uz izlučivanje čađe.

Termički (pećni plinski diskontinuirani) proces danas se napušta iako čađa njime proizvedena ima specifična svojstva tražena za neke primjene. Termičke čađe se proizvode krekovanjem ugljikovodika bez pristupa zraka na temperaturi 1100...1300 °C. Reaktori su vertikalni cilindri promjera 3,5 m i visine 10 m, iznutra

obloženi vatrostalnom opekom koja tvori reakcijsku zonu promjera 2,5 m ispunjenu rešetkasto složenom vatrostalnom opekom. Postoje različne modifikacije ovih peći u pogledu kako veličine tako i načina ugrađivanja opeka kao kontaktne površine. Reaktori se izgrađuju u parovima; dok se jedan reaktor zagrijava sagorijevanjem stehiometrijske smjese zraka i zemnog plina (faza grijanja), zemni plin se uvodi u drugi reaktor gdje se prelazeći preko

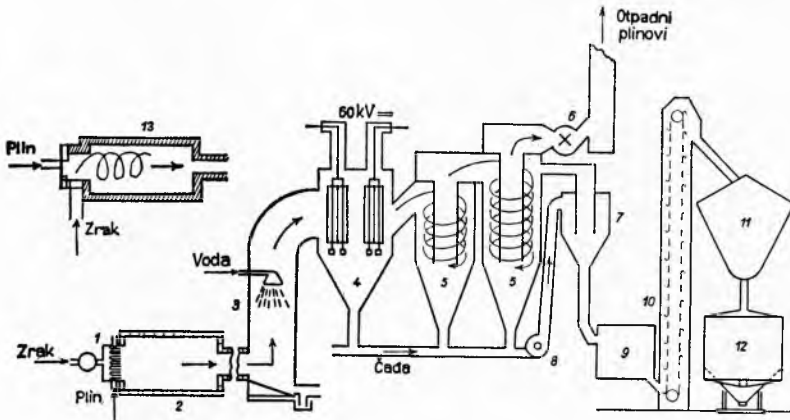


Sl. 2. Termički proces proizvodnje čađe. Lijeva peć u fazi proizvodnje, desna u fazi zagrijavanja

prethodno ugrianih rešetkasto složenih vatrostalnih opeka raspada na čađu i vodik (faza proizvodnje). Kako je reakcija raspada metana endotermna, temperatura u reaktoru se snižuje, i kad padne na $\sim 1000^\circ\text{C}$, automatski upravljani ventil prebacuje reaktor iz faze proizvodnje u fazu grijanja (sl. 2). Dimni plinovi iz faze proizvodnje sadrže $\sim 90\%$ vodika i pošto se iz njih odstrani čađa mogu se upotrijebiti kao gorivo za grijanje reaktora ili mogu služiti za razrjeđenje reakcijske atmosfere radi dobivanja čađe boljeg kvaliteta (FT). Termička čađa se ponekad dobiva i kao sporedni produkt u proizvodnji vodika za sintezu amonijaka.

Ovim se procesom može dobiti čađa vrsta MT i FT.

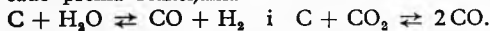
Pećni plinski kontinuirani proces (sl. 3) koristi se reaktorima s prostranim reakcijskom komorom, kako bi se postiglo dulje vrijeme kontakta, potrebno za raspadanje prirodnog plina. Reaktori su horizontalni, podstavljeni vatrostalnom opekom, a u upotrebi su u osnovnom dva tipa: cilindrični i pravokutni (pa-



Sl. 3. Pećni plinski proces proizvodnje čađe. 1 Plamenik, 2 reaktor s difuznim plamenom, 3 hlađenje vodom, 4 elektrofilter, 5 i 7 cikloni, 6 ventilator, 8 pneumatski transporter čađe, 9 uređaj za granulaciju čađe, 10 elevator, 11 spremnik, 12 vagon za čađu u rasutom stanju, 13 reaktor s turbulentnim plamenom

ralepipedni). U cilindrični reaktor, koji ima komoru promjera $0,75\text{--}1,5\text{ m}$ i dužine $\sim 10\text{ m}$, uzduh se uvodi tangencijalno te se čađa stvara nepotpunim izgaranjem plina u turbulentnom plamenu. Pravokutni reaktor ima reakcijsku komoru dimenzija približno $1,2 \times 3 \times 4,2\text{ m}$, a čađa se u njemu stvara u difuznom plamenu nepotpunim sagorijevanjem plina na velikom broju plamenika. U oba reaktora čađa se stvara time što se jedan dio ugljikovodika termički raspada na račun topline drugog dijela ugljikovodika. Obično $1\text{--}5$ reaktora čine jednu proizvodnu jedinicu.

Volumen, brzina i pravac zraka i plina u reaktoru tako se podešavaju da se djelomično sagorijevanje odvija u struji zapaljenog plina koji se kreće kroz reakcionu zonu pod tačno određenim uvjetima. Temperatura u peći iznosi $1100\text{--}1350^\circ\text{C}$ a sagorjevni plinovi sa čađom prolaze dalje kroz $20\text{--}30\text{ m}$ dugački dimovod (aktivator), također obzidan vatrostalnom opekom, gdje na temperaturi 1000°C dolazi do raspadanja ugljikovodika koji se nisu raspali u reaktoru i do sporednih reakcija dimnih plinova i nastale čađe, čime se povećava porozitet i sadržaj hlapljivih sastojaka čađe prema reakcijama



Kao sirovina se prvenstveno upotrebljava zemni plin a u novije se vrijeme zemnom plinu dodaju i tekući produkti prerade nafte. Ovim se procesom mogu dobiti čađe vrsta SRF, HMF, FF, GPF i CF.

Pećni uljni kontinuirani proces (sl. 4) danas predstavlja najrašireniji i najvažniji proces za proizvodnju čađe. Ovaj proces je oslobodio industriju čađe dugotrajne vezanosti uz jednu jedinu sirovinu, zemni plin, i omogućio je rentabilnu upotrebu različitih tekućih ugljikovodika. Osim toga, ovaj proces ne zagađuje okolnu atmosferu (nema oblaka čađe nad postrojenjem kao kod kanalnog procesa) te se postrojenje može postaviti na bilo koje mjesto. Zahvaljujući uljnom procesu danas preko 40% svjetske proizvodnje čađe otpada na zemlju izvan USA, a još su razmjerno nedavno USA imale gotovo monopolni položaj u toj proizvodnji.

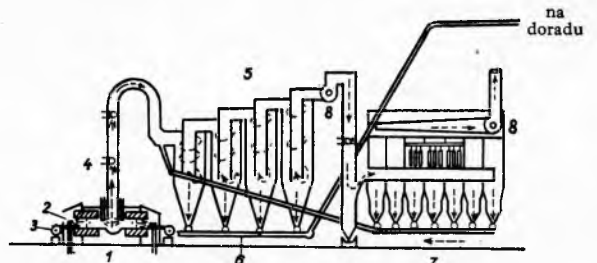
Uljni proces razvio se iz plinskog pećnog procesa. Sirovina se prethodno predgrijava i djelomično isparava na temperaturi 350°C a zatim se ubrizguje u horizontalne ili vertikalne cilindrične reaktore u kojima obično potpuno sagorijeva smjesa zraka i plina ili loživog ulja koja turbulentno struji. Reaktori su iznutra obloženi vatrostalnom opekom koja obrazuje reakcijsku komoru različitih oblika, promjera od $0,15$ do $0,4\text{ m}$ i dužine $1\text{--}4\text{ m}$. Svaki proizvođač čađe upotrebljava svoje vlastite patente u pogledu veličine reaktora i režima rada, u nastojanju da uspostavi optimalne uvjete za proizvodnju onih vrsti čađe koje se sada u industriji upotrebljavaju.

Za proizvodnju vrlo finih čađa potrebno je da se osigura vrlo brz prelaz topline sa sagorjelih plinova na raspršeno ulje i vrlo kratko zadržavanje tek stvorenih čestica čađe u reakcijskoj zoni. To se postiže turbulencijom u reakcionoj komori i naglim hlađenjem aerosola čađe sa $1200\text{--}1600$ na $600\text{--}800^\circ\text{C}$ direktnim uštrcavanjem vode odmah iza reakcione zone i pogodnim režimom pritiska i brzine strujanja u sistemu. Obično $2\text{--}5$ reaktora čine jednu proizvodnu jedinicu. Ovim postupkom mogu se proizvoditi čađe vrsta SAF, ISAF, HAF, FEF, GPF i CF. U posljednje vrijeme, zbog sve veće cijene zemnog plina, ovim procesom počele su se proizvoditi i čađe vrsta SRF i HMF koje, u poređenju sa čađama proizvedenim plinskim pećnim procesom, imaju više razvijenu sekundarnu strukturu.

Acetilenska čađa se komercijalno proizvodi kontinuiranim termičkim rastvaranjem acetilena u posebno konstruiranim pećima. Acetilenska čađa se može još proizvoditi metodom eksplozije i nepotpunim sagorijevanjem acetilena (kanalnim procesom) i metodom električnog luka. Eksplozivna metoda pod pritiskom 2 atm i uz paljenje električnom iskom našla je primjenu u Njemačkoj. Acetilenskom čađom se smatraju i čađe koje nastaju kao sporedni produkt pri dobivanju acetilena sagorijevanjem plinovitih ugljikovodika u električnom luku. Kontinuirani termički proces je danas raširen u kontinentalnoj Evropi, Aziji i Kanadi. Raspadanje acetilena inicira se grijanjem plina na 800°C . Kako je reakcija egzotermna, razvitom toplinom održava se visoka temperatura i acetylen se dalje raspada bez dovođenja topline izvana.

Termička acetilenska čađa je vrlo čvrsta, sadrži preko $99,5\%$ ugljika i električki je vodljiva. Nečistoće su uglavnom produkti polimerizacije acetilena, vlaga i anorganske tvari.

Obaranje i dorada čađe. Čestice čađe nastale termičkim raspadom suspendirane su u ostalim produktima raspadanja, tj. u dimnim plinovima, u obliku aerosola različitog stabilneta. Da bi se čađa izdvojila iz dimnih plinova i pripremila za primjenu, treba suspenziju ohladiti, odvojiti čađu, odvojenu čađu mljeti, a onda je zgusnuti presovanjem ili granulacijom i eventualno izariti. Dimni plinovi sa čađom na izlasku iz reaktora imaju temperaturu $900\text{--}1500^\circ\text{C}$; oni se ohlade vodom na $200\text{--}300^\circ\text{C}$ (osim u taložnom postupku). Obično se primjenjuju horizontalni ili vertikalni hladionici sa direktnim uštrcavanjem vode. Ohlađeni aerosol dimnih plinova, koji sadrži i do 50% vodene pare, razdvaja se postupcima navedenim u članku Čišćenje plinova. Propušta se najprije kroz bateriju od $3\text{--}5$ ciklona gdje se obori do 90% od ukupne količine nastale čađe. Aerosol čađe proizveden po pećnom



Sl. 4. Pećni uljni proces proizvodnje čađe. 1 Reaktor, 2 plamenik, 3 ventilator, 4 hlađenje vodom, 5 cikloni, 6 transporter, 7 vrećasti filter, 8 ekshaurtor

plinskom kontinuiranom procesu vrlo je stabilan te ga treba pretihodno voditi kroz elektro-filtar u kome se aglomeriraju čestice i obara do 40% od ukupne količine proizvedene čađe. Ostatak čađe zadržati se u vrećastim filtrima koji ujedno sprečavaju i najmanje zagađenje okolne atmosfere. Izdvojena čađa prolazi preko mikro-minolova gdje se usitne sve veće primjese koje su za vrijeme proizvodnje mogle u nju dospjeti. Magnetskim separatorima odstranjuju se iz čađe eventualno prisutni komadi željeza. Strane primjese mogu se iz čađe odstranjivati sijanjem ili pneumatskom separacijom.

Čađa nakon obaranja u ciklonima i električnom i vrećastom filtru ima nasipnu težinu svega 50...160 g/l. U takvom stanju ona sadrži znatne količine zraka i vrlo je nepogodna za transport, skladištenje i daljnje rukovanje. *Presovanjem* povećava joj se nasipna težina obično na 100...230 g/l. Za ovakav način zgušnjavanja prije su se upotrebljavale hidrauličke prese, danas se više upotrebljavaju uređaji s valjcima ili agitatori. Čađa ove nasipne težine obično se upotrebljava za proizvodnju grafičkih boja. *Granulacijom* (peletizacijom) povećava se nasipna težina čađe obično na 320...480 g/l. U procesu granulacije obrazuju se granule (peleti) različitih veličina, koje se zatim prosijavaju na sitima. Obično se granule manje od 0,5 mm i veće od 2,0 mm vraćaju na doradu.

Postoje dva postupka granulacije: mokri i suhi. U mokrom postupku upotrebljava se za izradu čadne paste voda u količini jednakoj težini čađe. Po jednom postupku voda se može dodavati čađi u bubnju promjera 1...2 m i dužine 3...5 m, koji se okreće brzinom 10...30 o/min. Uslijed okretanja dolazi do stvaranja granula koje prelaze u rotirajuće horizontalne cilindrične sušionike promjera 1,5 m i dužine 20 m. U njima se granule osuše do određenog sadržaja vlage. Po drugom postupku čadna pasta se posebno priprema i protiskuje kroz sitne otvore tako da se oblikuju duge niti koje odmah ulaze u sušionik, preobrazuju u granule i ujedno suše. Mokrom granulacijom dobivaju se granule veće čvrstoće nego suhom.

U suhom postupku dolazi do izražaja svojstvo čađe da se intenzivnim miješanjem u rotirajućem bubnju čestice čađe aglomeriraju u veće nakupine (kuglice). Bujanj je iste veličine i istih karakteristika kao i za mokru granulaciju, ali je kapacitet peletizacije manji. Bujanj je pregradama razdijeljen u nekoliko sekcija tako da se čađa prelazeći iz jedne sekcije u drugu postepeno zgušnjuje i granulira. Na početku procesa granulacije potrebno je u bubanj dodati manju količinu gotovih granula, nakon čega se proces granulacije nastavlja vrlo brzo. Pri granulaciji suhom metodom potrebno je da čađa ima nasipnu težinu od min. 120 g/l.

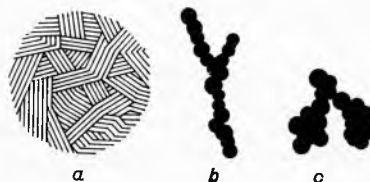
Granulirana čađa, naročito zbog njenih dobrih svojstava tečenja, može se skladištiti i transportirati u rasutom stanju u specijalnim vagonima ili u kontejnerima na kamionu. Inače se pakuje u papirnate vreće težine po 25...30 kg.

Žarenje na zraku pri temperaturi 800...1000°C (dopunska oksidacija) specijalni je postupak obrade čađe kojim se umjetno mijenja struktura površine čestica (porozitet čađe) i povećava sadržaj hlapljivog radi dobivanja specijalnih čađa za primjenu u industriji boja.

SOJVSTVA ČAĐE

Struktura čađe. Čađa se sastoji od kuglastih čestica promjera uglavnom od 5 do 500 nm, dakle koloidnih dimenzija; te se čestice mehaničkom obradom ne mogu usitniti, pa predstavljaju u odnosu na mehaničko djelovanje nepromjenljiv element skupa. Rendgenografsko ispitivanje pokazuje da čestica čađe ima dvodimenzijski kristalnu strukturu: ona se sastoji od nekoliko hiljada do nekoliko miliona kvazi-grafitnih pločastih kristalita, tj. kristalita koji su sastavljeni od svega 3...5 sloja atoma ugljika vezanih (kao u grafitu) u šesterokutne prstene a u čestici su gusto složeni nasumce (statistički) u odnosu na smjer okomit na ravninu pločice (sl. 5 a). Razmak među slojevima ugljikovih atoma jednak je kao u grafitu (2,46 Å), ali je udaljenost među atomima u šesterokutima u čađi nešto veća nego u grafitu (7,0 prema 6,7 Å). Razlika između dvodimenzijski kristalne strukture čestica čađe i trodimenzijski kristalne strukture grafita objašnjava neke razlike među njihovim mehaničkim svojstvima i pored kristalografskih sličnosti (npr. čađa nema, poput grafita, svojstva maziva). Mikrostruktura čadne čestice naziva se *primarnom strukturom čađe*.

Promatra li se čađa u elektronskom mikroskopu, vidi se da kuglaste čestice nisu jednako udaljene jedna od druge, nego u većoj ili manjoj mjeri tvore račvaste lance (*sekundarna struktura* ili naprosto *struktura čađe*, sl. 5 b). Lanci čadnih čestica nastaju uslijed istovremenog rasta susjednih čestica. Sekundarna struktura čađe — od koje uvelike zavise njezina tehnološka svojstva — zavi-



Sl. 5. Struktura čađe. a Primarna, b sekundarna, c nakupinska

sna je, dakle, od okolnosti u kojima čestice rastu pa je karakteristična za produkt proizveden iz određene sirovine određenim postupkom. Ona se može mijenjati u širokim granicama, u zavisnosti od sirovine i režima rada, a da se ne mijenja veličina čestice.

Uslijed djelovanja privlačnih (prvenstveno van der Waalsovih) sila pojedine čestice čađe imaju tendenciju stvaranja nakupina, aglomerata (*nakupinska struktura*, sl. 5 c). Veća nakupinska struktura može se stvoriti zbijanjem ili granulacijom čađe na različite načine. Nakupinska struktura (stepen zbijenosti) ima neznan uticaj na tehnološko-preradbena svojstva čađe, ali znatno povećava prividnu gustoću i na taj način olakšava transportiranje i skladištenje i rukovanje njome. Nakupinska struktura se intenzivnom mehaničkom obradom čađe može vrlo lako potpuno razoriti.

Fizička svojstva čađe. Sve čađe, bez obzira na način proizvodnje ili vrstu upotrijebljene sirovine, imaju slične fizičke osobine. Za one fizičke konstante koje se ne određuju jer se ne mogu neposredno mjeriti (zbog velike disperzije čađe) mogu se kao približne vrijednosti uzeti odgovarajuće konstante grafita.

Prividna gustoća čađe, s obzirom na to da uvelike zavisi od stepena zbijenosti odnosno nakupinske strukture čađe, ne predstavlja karakterističnu fizičku konstantu; kreće se u širokim granicama od 50 do 500 g/l.

Prava gustoća čađe (specifična masa), naprotiv, ne zavisi od stepena zbijenosti već samo od kristalne strukture čestica čađe. Iz mjerenja na rendgenogramu čađe izračunava se da joj prava gustoća iznosi 2,18 g/cm³. Određivanje gustoće helijumom daje vrijednosti od 1,84 do 2,13 g/cm³, prema kompaktnosti i načinu razmještaja kristalita u čestici čađe, odnosno prema veličini slobodnog prostora između elementarnih kristalita. Za tipove čađe za gumu uzima se da je gustoća 1,80 g/cm³.

Aktivitet površine čađe očituje se u sposobnosti da se čestice čađe fizičkom adsorpcijom jedne s drugom vežu i da iz plinovite ili tekuće faze adsorbiraju plinove odn. otopljene tvari. Kalorimetrijska mjerenja pokazala su da se energija vezanja u toku adsorpcije naglo smanjuje, mnogo brže nego površina još nezaposjednuta adsorptivom. To ukazuje na to da je energija vezanja različita na različitim mjestima površine.

Čađa dobro adsorbira spojeve iz otopina anorganskih i organskih baza, metilensko modriilo, katione, neutralne soli i razna mineralna i biljna ulja. Sa praktičnog stanovišta naročitu važnost ima adsorpcija difenilgvanidina (DPG, ubrzivač za vulkanizaciju gume) i adsorpcija različitih ulja upotrijebljenih u proizvodnji premaznih i grafičkih boja. Aktivitet čađe, izražen kao procent difenilgvanidina (u odnosu na težinu čađe) apsorbiran na čađi iz 0,1%tne otopine u benzenu, kreće se od 1 do 80%.

Mnoga svojstva čađe i mnoge metode njihova određivanja osnivaju se na aktivitetu površine čestice čađe.

Toplinska vodljivost čađe je zbog male volumne težine skoro jednaka toplinskoj vodljivosti mirnog zraka i za različite čađe iznosi 0,02...0,03 kcal/m h °C, zavisno od stepena zbijenosti. Što je veća nasipna težina to je veća toplinska vodljivost čađe. Prava toplinska vodljivost elementarnih čestica čađe ne može se neposredno izmjeriti, ali se može s dovoljnom tačnošću pretpostaviti da je ona blizu toplinske vodljivosti grafita.

Električna vodljivost čađe zavisna je od sadržaja i kemijskog sastava hlapljivog u njoj (sadržaja vodika), disperznosti, razvije-

nosti sekundarne strukture i stepena zbijenosti čađe. Pod pritiskom od 10,5 atm specifični električni otpor kreće se od 0,44 (acetilenska čađa) do 150 Ω cm (termička). Velika električna vodljivost acetilenske čađe posljedica je prisutnosti većih i više uporednih kristalita u elementarnoj čestici, malog sadržaja hlapljivog i jako razvijene sekundarne strukture.

Kemijske osobine. Čađa nije čisti ugljik. Elementarna analiza čađe i hlapljivih tvari pokazuje da se čađa sastoji od 90...99% elementarnog ugljika i da sadrži kisika, vodika i sumpora u količinama zavisnim od načina proizvodnje i kemijskog sastava sirovine: vodika od nekoliko stotinki do $\sim 0,8\%$, kisika obično 0,1...0,6% u pećnim čađama, 3...5% u kanalnim čađama za gumu, a 20% u kanalnim za grafičke boje, sumpora ukupno 0,01...1,5%. Vodik je najvećim dijelom raspodijeljen u cijeloj čestici, kisik je vezan na površini čađnih čestica npr. u obliku grupa —OH, —C=O, —COOH, —C<O i u spojevima heterocikličke eterske strukture. Sumpor je prisutan u vezanom i u slobodnom obliku. Sadržaj vodika smanjuje električku vodljivost čađe zbog toga što vodikovi ioni vezuju pokretne elektrone ugljika; ugljično-kisični kompleksi na površini čestice utječu na mnoga sekundarna svojstva čađe; vezani sumpor je inertan, ali slobodni sumpor može utjecati na proces vulkanizacije gume.

Kisik na površini čađnih čestica povećava hidrofilnost čađe, koja je sama po sebi tipičan hidrofoban materijal s afinitetom prema nepolarnim tvarima; vodik u čađi povećava njenu hidrofobnost. Čađe koje su najhidrofilnije lako se kvase lanenim uljem i drugim organskim tvarima koje sadrže jako polarne grupe na krajevima dugih lančanih molekula. To je svojstvo važno u primjeni čađe za proizvodnju štamparskih boja.

Ako se čađa grije bez pristupa zraka, ona gubi od 0,5 do 20% težine, zavisno od sirovine i načina proizvodnje. Pri grijanju na 1000...1200 °C plinovi koji izlaze sastoje se uglavnom od molekularnog vodika i ugljik-monoksida, uz 3...7% ugljik-dioksida. Gubitak težine pri grijanju čađe kroz 7 minuta na 927 °C naziva se konvencijski *sadržajem hlapljivog* u čađi. Jedan dio hlapljivog potječe od smolastih tvari u čađi koje se mogu ekstrahirati organskim otapalima. Te tvari povećavaju hidrofilnost čađe, a imaju neznatno djelovanje na svojstva gume. Sadržaj hlapljivog u pećnim čađama kreće se od 0,5 do 2%, u kanalnim od 5 do 18%. Smolastih tvari (tvari ekstrahiranih organskim otapalima) ima u kanalnim čađama manje od 0,3%, u pećnim rijetko više od 0,5%, dok ih termičke mogu sadržati i 5...6%. Jedan dio hlapljivog predstavlja i *vлага* (gubitak težine pri sušenju na 105 °C), koje u kanalnim čađama može biti i do 6%, u pećnim do 1%.

Gotovo sve čađe sadrže male količine anorganskih tvari. Sadržaj *pepela* iznosi obično između 0,01 i 1,0%, zavisno od upotrijebljene sirovine i načina proizvodnje. Jedan dio pepela potječe iz vode upotrijebljene za hlađenje čađne suspenzije i u mokrj granulaciji čađe u toku proizvodnje. Taj pepeo, tvoreći tanki sloj na površini čestica, može bitno izmijeniti površinska svojstva čađe. Pepeo čađe za gumu ne smije da sadrži mangana i bakra, koji vrlo štetno djeluju na svojstva gume.

Stupanj zaposjedanja površine čestice čađe kisikom odražava se i na kiselosti (*pH-vrijednosti*) tekućine dobivene kad se čađa izluži vodom, s obzirom na to što je kisik u čađi vezan i u obliku grupe COOH. Međutim, vrijednost pH može u znatnoj mjeri zavistiti i od toga koliko se na površini čađe adsorbiralo topljivih soli kalcijuma, magnezijuma i natrijuma iz vode prilikom hlađenja čađne suspenzije ili prilikom granulacije. U zavisnosti od navedenih faktora, pH vodene izlužine čađe, određen titracijom prema indikatorima ili potenciometrijski uz upotrebu staklenih elektroda, kreće se od 3 do 10.

ISPITIVANJE ČAĐE

Za kontrolu kvaliteta čađe i za ocjenjivanje njezine pogodnosti za različite vrste upotrebe, proizvođači i potrošači čađe razvili su mnoge konvencionalne i specijalne metode ispitivanja, karakteristične za svako područje primjene.

Mada mehanizam djelovanja čađe u raznim njezinim primjenama nije dovoljno razjašnjen, sigurno je da mnoga svojstva čađe ovise najvećim dijelom o veličini čestica, specifičnoj površini, sekundarnoj strukturi i površinskoj strukturi čestica (sadržaju

i sastavu hlapljivog). Ove veličine variraju u širokim granicama prema vrsti proizvodnog procesa i tehnološkim uvjetima rada u jednom te istom proizvodnom procesu.

Određivanje veličine čestica i specifične površine imaju osobito veliko značenje za ocjenjivanje svojstava čađe prije praktične primjene. Za ta određivanja upotrebljavaju se: metoda plinske adsorpcije i mjerenje pod elektronskim mikroskopom.

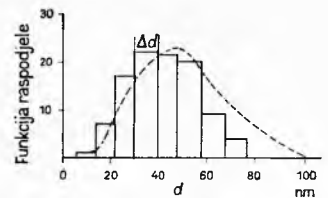
Metoda plinske adsorpcije (BET) osniva se na adsorpcijskoj izotermi poznatog inertnog plina ili pare na površini čađe (v. *Adsorpcija*). Kao adsorbirajuće sredstvo obično se upotrebljava dušik na temperaturi ključanja. Tako određena *specifična površina* A_{ad} čađa za gumu kreće se između 5 i 135 m^2/g , za elektrovodljive čađe je 65...280 m^2/g a za čađe za boje 100...1000 m^2/g .

Sve čađe sadrže čestice različitih veličina, tako da prema specifičnoj površini nije moguće odrediti prave promjere čestica, već samo *površinski srednji promjer*, koji, uz pretpostavku da čestice imaju glatku kuglastu površinu i specifičnu masu ρ , iznosi $d_A = 6/A_{ad}\rho$ (u koherentnim jedinicama). Rezultati dobijeni ovom metodom ne daju nikakvu predstavu o broju i obliku čestica, ni o raspodjeli čestica po veličini ili težini.

Pod elektronskim mikroskopom može se promjer kuglastih čestica direktno izmjeriti. Da bi se dobio što tačniji rezultat za srednji promjer, potrebno je izmjeriti bar 500 čestica, i rezultate mjerenja svrstati u k klasâ širine Δd sa srednjim promjerima d_i ($i = 1, 2, \dots, k$). Ako je n_i broj čestica u klasi srednjeg promjera d_i , *aritmetički srednji promjer* svih izmjerenih čestica dat je izrazom

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i d_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Raspodjela čestica po klasama prema veličini prikazuje se grafički *histogramom* (sl. 6). Površina pravokutnika podignutog iznad širine klase Δd prikazuje broj čestica koje se nalaze u dotičnoj klasi. Ako se suma površina svih pravokutnika učini jedinicom površine, površina pravokutnika iznad Δd prikazuje udio broja čestica dotične klase u ukupnom broju čestica.



Sl. 6. Histogram veličina čestica čađe

Aritmetički srednji promjer čađa za gumu kreće se između

18 i 500 nm, vodljivih čađa između 20 i 45 nm, čađa za boje između 5 i 30 nm (sl. 7). *Površinski srednji promjer*, koji ima veće značenje, izračunava se z mjerenja pod elektronskim mikroskopom

$$s \text{ pomoću jednadžbe: } d_A = \frac{\sum_{i=1}^k n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^k n_i d_i^2}$$

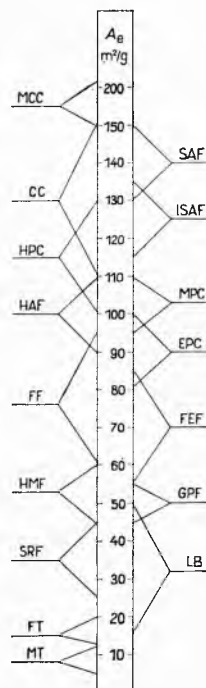
(v. poglavlje *Velicina čestica* u članku *Čišćenje plinova*).

Specifična površina (A_e) dobiva se procenom iz d_A (pod pretpostavkom da sve čestice imaju glatku kuglastu površinu) prema izrazu

$$A_e = \frac{6}{\rho d_A} = \frac{6 \sum n_i d_i^3}{\rho \sum n_i d_i^2}$$

Ako čestice čađe imaju pore ili hrpavu površinu, izračunavanje specifične površine (A_e) po prednjoj jednadžbi dat će niže vrijednosti nego eksperimentalno određivanje metodom BET (A_{ad}). Uspoređivanje vrijednosti A_{ad} i A_e omogućava da se stvore neki zaključci o strukturi površine čestica. Odnos A_{ad}/A_e naziva se *koeficijent hrpavosti i poroziteta*; kreće se između 1 i 1,5. Obrada čađe zrakom na povišenoj temperaturi u procesu proizvodnje ili naknadno žarenje (dopunska oksidacija) može koeficijent poroziteta povećati tako da on iznosi i do 8.

Ako se broj klasa povećava (odn. njihova širina Δd smanjuje) tako da teži beskonačnosti (odn. mjesto Δd postavi dd), histogram raspodjele prelazi u *krivulju raspodjele* čestica po veličini. Površina ispod te krivulje između dvije apscise d_1 i d_2 prikazuje udio čestica s promjerom između d_1 i d_2 u ukupnom broju čestica. Kao što se vidi u dijagramu sl. 8, postoje značajne razlike u pogledu veličine čestica i raspodjele čestica po veličini između različitih vrsta čađe.



Sl. 7. Specifične površine različitih vrsta čađe

Metode plinske adsorpcije i mjerenja pod elektronskim mikroskopom daju tačne i apsolutne vrijednosti disperzije čađe, ali su dugotrajne, tako da se ne mogu primijeniti za redovnu kontrolu proizvodnje čađe. Za ovu se obično upotrebljavaju brže metode koje ne daju egzaktno rezultate, ali se mogu primijeniti za preliminarne relativne ocjene disperznosti čađe. Takve su metode: određivanje crnoće i moći bojenja čađe i adsorpcija joda na njenoj površini. Što su čestice manje to su veći intenzitet crnoće, moć bojenja i količina joda adsorbirana iz otopine na jedinicu težine čađe.

Crnoća (blackness, jetness, mass color) određuje se promatranjem čađe u reflektiranom svjetlu i uspoređivanjem sa standardnim uzorkom poznate veličine čestica. Čađa se prethodno dispergira u standardnom lanenom ulju i uspoređuje sa standardnim uzorkom pripremljenim na isti način. Za vizuelno uspoređivanje postoje aparati različite konstrukcije, od kojih se najviše upotrebljava tzv. *nigrometar*. Nakon izjednačavanja intenziteta svjetla reflektiranog sa ispitivanog uzorka s intenzitetom svjetla reflektiranog sa standardnog uzorka može se na kalibriranoj skali očitati relativna vrijednost (nigrometerska vrijednost) crnoće; manja nigrometerska vrijednost znači veću crnoću i obratno. Čađe za boje imaju nigrometersku vrijednost 58...70 u odnosu na standardni uzorak čađe SRF = 100, a pečno-termičke čađe imaju vrijednost 105...115.

Moć bojenja (tinting strength) određuje se mjerenjem stupnja obojenja cink-oksida određenom količinom čađe dispergirane u lanenom ulju. Određuje se količina standardne čađe (obično SRF čađe specifične površine 25 m²/g) potrebne da oboji cink-oksid do istog stupnja sivoće kao određena količina ispitivane čađe, a izražava se kao odnos tih količina standardne i ispitivane čađe. Moć obojenja kreće se od 30 do 250% ovisno o vrsti čađe.

Adsorpcija joda se široko primjenjuje u proizvodnji čađe kao vrlo brza i podesna kontrolna metoda njenog kvaliteta. Uzorak čađe se određeno vrijeme intenzivno miješa sa 0,01 N otopinom joda u kalijum-jodidu. Rezultat se izražava u postocima adsorbiranog joda u odnosu na težinu čađe; za različite vrste čađa kreće se između 0,5 i 20%. Primjenom pogodnog dijagrama može se iz adsorpcije joda odrediti apsolutna specifična površina ispitivanog uzorka.

Određivanje sekundarne strukture čađe zbog pomanjkanja sigurne kvantitativne metode određivanja razvijenosti sekundarne strukture u osnovi ima samo kvalitativan karakter. Takve metode jesu: promatranje pod elektronskim mikroskopom, adsorpcija ulja i određivanje kompresibilnosti.

Promatranje pod elektronskim mikroskopom daje samo kvalitativnu indicaciju o količini čestica vezanih u lancu, jer su metode pripremanja preparata za elektronski mikroskop vezane s razaranjem sekundarne strukture.

Adsorpcija ulja je konvencionalna i primitivna metoda koja ne daje pouzdane rezultate, a ima veće značenje kada se želi ustanoviti stupanj razvijenosti jedne iste vrste čađe (iste veličine čestica, istog sadržaja i sastava hlapljivog i istog stepena zbijenosti). Sastoji se u zamješavanju određene količine čađe sa standardnim lanenim uljem, i to u tolikoj količini da je dodatkom posljednje kapi ulja čađa upravo navlažena uljem u tolikoj mjeri da je moguće oblikovati mekanu kuglicu (soft ball metoda, single ball stage) ili da se dodatkom jedne kapi ulja upravo postigne pasta konzistencije staklarskog

kita (metoda Gardner). Veća količina za to potrebnog ulja znači i više razvijenu sekundarnu strukturu.

Određivanje kompresibilnosti (stišljivosti), tj. smanjenja volumena čađe pod određenim opterećenjem, novija je metoda za određivanje njene sekundarne strukture. Kompresibilnost se izražava kao odnos smanjenja volumena i prvobitnog volumena. Što je više izražena sekundarna struktura čađe to joj je manja stišljivost.

Određivanje karakteristika u vezi s nakupinskom strukturom. *Određivanje sposobnosti stvaranja nakupinske strukture* sastoji se u određivanju strukturnog indeksa, tj. odnosa uljne adsorpcije i specifične površine. Manja vrijednost strukturnog indeksa ukazuje na veću sposobnost aglomeracije. Uljna adsorpcija kao funkcija veličine čestice prikazana je u logaritmičkoj anamorfizi pravcem s prikonom približno 2/3. Acetilenska čađa i uljne pečne čađe sa visokom strukturom vrlo se teško aglomeriraju.

Prirodni put pokosa (angle of repose) naziva se kut do kojega treba prema horizontali nagnuti podlogu na kojoj počiva sipki materijal da bi komponenta sile teže paralelna s kosinom postala veća od trenja među česticama materijala, te ovaj počeo teći niz kosinu. To je također kut što ga prema horizontali zatvara pokos hrpe nastale sipanjem takvog materijala na neku podlogu. Prirodni kut pokosa važan je pri projektiranju cijevnih vodova kroz koje se čađa transportira gravitacijom. Za dobro granulirane čađe taj kut iznosi 30°, a za presovane 70°.

Granulometrijski sastav (raspodjela granula po veličini) određuje se sijanjem čađe i vaganjem ostatka na seriji standardnih sita. Dobro granulirane čađe obično sadrže 90...95% granula promjera 0,5...2,0 mm.

Sadržaj praha određuje se vaganjem čađe koja prođe kroz sito od 100...150 mesha. Dobro granulirana čađa obično ne sadrži više od 5% praha.

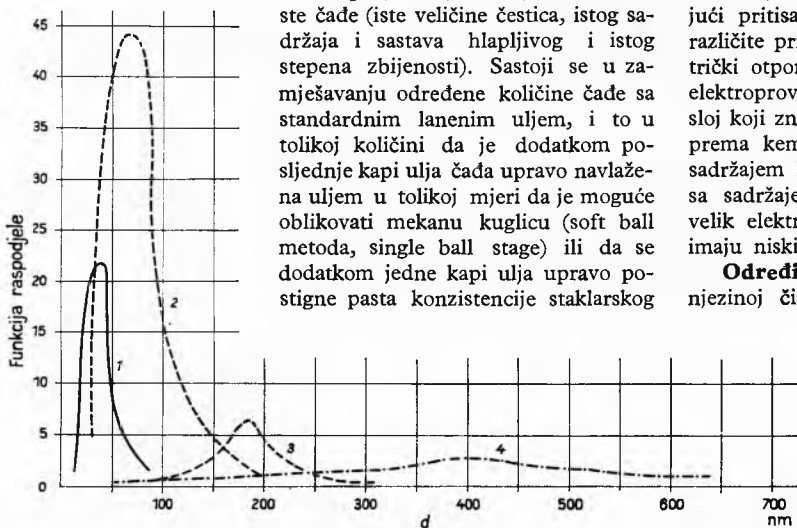
Tvrdoća granula se mjeri ili otporom prema prodiranju oštre igle u granulu, ili pritiskom potrebnim za drobljenje granule, ili otporom prema dezintegraciji u posebno konstruiranim uređajima. Jedan od ovih posljednjih načina sastoji se u određivanju količine praha koji nastaje drobljenjem čađe u bubnju s kuglama i prođe kroz sito 150 mesha. Kod dobro granuliranih čađa postotak praha iznosi maksimalno 1,5%. Čvrstoća granula zajedno sa granulometrijskim sastavom i sadržajem praha određuje kvalitet granulirane čađe.

Nasipna težina (litarska težina, zapreminska težina, prividna gustoća), masa jedinice volumena čestica čađe i prostora među njima, određuje se vaganjem čađe usute u cilindar volumena 1 dm³ uz sabijanje stresanjem ili bez stresanja; izražava se u jedinicama g/l.

Određivanje električke vodljivosti važno je za primjenu čađe u elektrotehničke svrhe, a također je važno u njenoj primjeni za pojačavanje električki vodljivih guma na kojima se ne nakuplja statički elektricitet. Mjeri se obično sabijanjem čađe u staklenoj ili ebonitnoj cijevi između dvije elektrode. Mijenjavajući pritisak na tim elektrodama dobije se električki otpor za različite pritiske. S povećanjem pritiska i stupnja disperzije električki otpor čađe se smanjuje jer s porastom pritiska raste broj elektroprovodnih mostova. Hlapljivo u čađi stvara izolacijski sloj koji značajno povećava električni otpor čađe — više ili manje prema kemijskom sastavu hlapljivoga. Kanalne čađe sa velikim sadržajem hlapljivog u obliku kisikovih spojeva i termičke čađe sa sadržajem hlapljivog u obliku smolastih supstancija imaju velik električki otpor, pečne čađe i acetilenska čađa, pak, koje imaju niski sadržaj hlapljivog, jako su provodljive.

Određivanje grita. U primjeni čađe velika pažnja se poklanja njezinoj čistoći: naročite teškoće stvaraju onečišćenja u obliku

čestica tvrdih supstanci (tzv. grit) manjih ili većih dimenzija: ti aglomerati obično potječu iz proizvodnje (čestice koksa, šamota itd.). Količina tih nečistoća određuje se tako da se važe ostatak koji zaostaje na situ 325 mesha poslije pranja uzorka čađe jakim mlazom vode u posebno konstruiranoj aparaturi. Sadržaj grita za kanalne čađe iznosi do 0,01% a za pečne do 0,1%. Najveći sadržaj grita koji dozvoljavaju standardi za čađu jest 0,1%.



Sl. 8. Krivulje raspodjele čestica čađe po veličini. 1 Kanalna čađa (MPC), 2 pečna plinska čađa (SRF), 3 termička čađa FT, 4 termička čađa MT

Ispitivanje čade kao pojačavajućeg punila. Mehanizam pojačavanja gume čađom i utjecaj čade na tehnološka svojstva gume još nije razjašnjen. Takođe do danas ne postoji univerzalna metoda za ocjenjivanje čade u pogledu njenog pojačavajućeg djelovanja u kaučuku (elastomerima). Za ocjenjivanje ovih svojstava čade pripremaju se uzorci nevulkanizirane i vulkanizirane gume, koji se zatim podvrgavaju različitim fizikalno-mehaničkim metodama ispitivanja. Kako fizikalno-mehanička svojstva gume ovise i o sastavu smjese i tehnološkom procesu prerade, to za pripremu uzoraka postoje standardne recepture i određeni uslovi prerade (miješanja, vulkanizacije itd.). Receptura ovisi o vrsti ispitivane čade (pećna, kanalna itd.), vrsti elastomera (prirodni, sintetski kaučuk itd.) i o ostalim ingredientima u mješavini.

Od utjecaja čade u *nevulkaniziranim gumenim smjesama* ispituje se njezin utjecaj na energiju potrebnu za zamješavanje, na maksimalnu temperaturu pri zamješavanju, na viskozitet i plasticitet smjese, na stezanje pri protiskivanju kroz matrice, na vrijeme potrebno za inkorporaciju i disperziju u smjesi pri zamješavanju, na brzinu vulkanizacije.

Radi određivanja utjecaja čade na svojstva *vulkanizirane gume* ispituje se u prvom redu čvrstoća (jačina) gume i njezina otpornost prema habanju (trošenju), a zatim također žilavost, istežanje (izduženje), tvrdoća, odbojnost, histereza pri deformaciji, razvijanje topline pri ponovljenoj deformaciji, otpornost prema cijepanju, električki otpor. (V. *Guma.*)

Ispitivanje čade kao pigmenta provodi se uglavnom kao i ispitivanje drugih pigmenta. Ispituju se svojstva čade u smjesi s vezivima i s drugim pigmentima, kao njezina disperzija, crnoća, ton boje, moć pokrivanja, adsorpcija ulja, utjecaj na brzinu sušenja namaza, sposobnost da se kvasi vezivom i dispergira u njemu. (V. *Pigmenti, Premazi.*)

PRIMJENA ČADE

Industrija gume upotrebljava više od 90% ukupne potrošnje čade, a od toga se ~60% primjenjuje u proizvodnji auto-guma (pneumatika). Ostali dio se upotrebljava za izradu tehničke gumene robe (transportnih traka, omotača za kablove, pogonskog remenja, cijevi, brtvila, ploča) i gumene obuće (donova, kaljača, gumenih čizmi, opanaka itd.).

Od ukupne težine jedne vanjske auto-gume do 30% otpada na čađu. Dodatak kvalitetnih čada kaučuku povećao je trajanje automobilskih guma gotovo na deseterostruko, pri čemu se brzina vozila mogla povećati 3...5 puta. Amorfni SiO₂ može pod izvjesnim okolnostima dati iste vrijednosti pojačavanja, ali je on znatno skuplji. Druga punila koja se mogu uporediti u cijeni sa čađom imaju mnogo slabija svojstva pojačavanja gume.

Čade s veličinom čestica 18...35 nm (SAF, ISAF, HAF, MPC, EPC) visoko su pojačavajuće čade i upotrebljavaju se za izradu gazećih površina s obzirom na to da daju auto-gumama najveću otpornost prema habanju. Čade s veličinom čestica 40...80 nm (GPF, SRF, HMF, FF) smatraju se polupojačavajućim čađama i upotrebljavaju se za izradu skeleta auto-guma, njihovih bočnih strana i drugih proizvoda za koje nije važna otpornost prema habanju. Čade koje najmanje pojačavaju gumu jesu termičke (FT, MT), one imaju promjer čestica 120...400 nm. Ova veličina čestica omogućuje punjenje i do 50% po težini. Upotrebljavaju se za izradu zračnica i jeftinih gumenih proizvoda. Standardne lampne čade u USA rijetko se upotrebljavaju u industriji gume, ali se za to upotrebljavaju u ostalim zemljama, da bi se njima jednim dijelom zamijenila uvozna kanalna i plinska pećna čada. Lampna čada slabo pojačava gumu, pa se miješa s pećnim čađama za izradu skeleta i bočnih strana autoguma i za izradu tehničke robe gdje nije važna otpornost prema habanju.

Acetilenska čada se u pogledu pojačavajućih svojstava klasificira kao čada vrste HAF; ona daje žilavije i nešto tvrde vulkanizate nego uljne i plinske čade, s dobrom otpornošću prema habanju i umjerenom histerezom.

Industrija boja i lakova drugi je po redu najveći potrošač čade. Svjetska potrošnja čade za boje (bez SSSR i Kine) iznosi ~85 kt godišnje, što predstavlja ~5% od ukupne svjetske potrošnje čade. Čada se upotrebljava kao crni pigment za pripremu crnih i sivih boja, lakova i emajla. Naročito značenje ima u pripremi grafičkih boja pa primjena čade u grafičkom obrtu i in-

dustriji datira još od najstarijih vremena. Čade za primjenu u ove svrhe treba da imaju optimalnu disperznost, što dublju crnu boju, modrikast ton, što manju uljnu adsorpciju, lako dispergiranje i što veću pokrivnu moć. Danas se u industriji boja primjenjuju sve vrste čada, ali veće značenje imaju specijalne vrste čada za proizvodnju boja koje se proizvode pod posebnim uvjetima (specijalne kanalne čade). Čada HCC upotrebljava se u proizvodnji automobilskih lakova i visokovrijednih emajla. Standardne čade za gumu obično se upotrebljavaju i za izradu premaznih boja. Lampne i termičke čade su manje crnoće, ali daju traženi modri ton. Premda su specijalne kanalne čade još uvijek nezamjenjive kod primjene u industriji grafičkih boja, u posljednje vrijeme se pokušavaju uvesti u ovu tehniku i kvalitetne uljne pećne čade.

Industrija plastičnih masa upotrebljava čade za bojenje i poboljšavanje nekih fizikalno-mehaničkih svojstava plastika. Sadašnja svjetska potrošnja za ove svrhe iznosi ~3 kt godišnje. Za bojenje se upotrebljavaju čade vrste HCC i MCC sa prosječnim punjenjem od 2...3%. Ova količina čade istovremeno ima svojstvo da zaštićuje plastične mase (naročito poliolefine) od fotokemijske i termičke oksidacije. Čada je odlično zaštitno sredstvo koje apsorbira radijaciju i znatno produžava trajanje polietilena.

Industrija papira upotrebljava čađu za proizvodnju različitih vrsta crnih i tamnih papira, kao papir za albume, papir za fotografske filmove, papir za kopiranje, omotni papir, papir za vreće, visokoprovodljive i elektroosjetljive papire i papire za omatanje visokovoltaznih kabela. Tim papirima čada osim boje daje i neka specijalna tražena svojstva. Mnogo godina čada za papir nazivala se »pariska čada«, a obično se upotrebljavala kanalna čada (LFC) i u posljednje vrijeme pećne čade sa velikom crnoćom i sposobnošću kvašenja.

Elektro-industrija. Čada je važni sastavni dio suhih baterija. Za to se upotrebljavaju čade koje imaju veliku električku vodljivost — da bi unutrašnji otpor baterije bio što manji — i veliki kapacitet adsorpcije — da bi upijale maksimalne količine elektrolita. Elektrode i ugljene četkice za električne strojeve također se proizvode uz upotrebu čade. Za ovu svrhu naročito se upotrebljava čada s niskim sadržajem pepela.

Industrija cementa upotrebljava čađu kao sredstvo za bojenje i za cementne glazure koje treba da su elektroprovodljive radi odvođenja i rasipanja statičkog elektriciteta. Obično se dodaje 2 kg čade na vreću cementa u smjesi 2 dijela pijeska na 1 dio cementa. Čada se također dodaje u mlin prilikom mljevenja klinera da bi se mljevenje ubrzalo.

Ostale upotrebe. Vrlo mala toplinska vodljivost kao i dobro tečenje granulirane čade omogućuje primjenu čade za toplinsku izolaciju. Svojstva čade ostaju u inertnoj atmosferi nepromijenjena i na temperaturama od 3000 °C, pa se čade osobito mnogo primjenjuju za visokotemperaturnu izolaciju. Čada se također upotrebljava kao čisti ugljik za redukciju i karburiranje i kao reagens u proizvodnji ugljik-disulfida. Upotrebljava se za izradu gramofonskih ploča. Ona je također odlično gorivo i adsorbens za tekuće kisikove eksplozive. Čada se također upotrebljava za bojenje linoleuma, kože, betona, paste za obuću itd.

Čada zbog male higroskopsnosti ima svojstvo da sprečava grudvanje i stoga je našla primjenu u industrijama koje proizvode ili upotrebljavaju higroskopsne materijale (umjetna gnojiva itd.). Zbog velike disperzije upotrebljava se i kao nosilac katalizatora, kako u tekućim tako i u plinskim faznim sistemima. Posljednja istraživanja pokazala su da čada ima određene efekte i na ponašanja tla, naročito u pogledu ranijeg klijanja kultura, što se objašnjava time da čada apsorbira sunčanu energiju.

PROIZVODNJA ČADE U SVIJETU I U JUGOSLAVIJI

Svjetska proizvodnja čade (bez SSSR i Kine) prikazana je, prema neslužbenim podacima, u tabl. 3.

Pećni postupak se naglo razvio nakon drugog svjetskog rata, tako da su 1945 bile proizvedene pećnim i kanalnim postupkom podjednake količine čade. Poslije toga je proizvodnja pećne čade brzo rasla, a proizvodnja kanalne opadala, tako da sada iznosi manje od 10% svjetske proizvodnje. U tabl. 4 dan je prikaz svjetske proizvodnje različitih vrsta čade pećnim postupkom u razdoblju od 1957 do 1964.

Tablica 3
SVJETSKA PROIZVODNJA ČAĐE (u kt)

Godina	Pećna	%	Kanalna	%	Ukupno
1935	16	10	144	90	160
1940	130	11,6	230	88,4	260
1945	230	47,0	260	53,0	490
1952	520	68	240	32,0	760
1960	1358	90	142	10,0	1500
1962	1460	91	140	9,0	1600
1964	1590	91	130	9,0	1720

Uljni proces sve više istiskuje ostale procese. Od uljnih čađa najviše je zastupana vrsta HAF a od plinskih vrsta SRF.

Kapaciteti za proizvodnju lampne čađe se ocjenjuju na 35 kt godišnje, od čega 10 kt otpada na USA a ostatak na Zapadnu Njemačku, Veliku Britaniju, Francusku i Jugoslaviju. Svjetska proizvodnja acetilenske čađe iznosi oko 20 kt/god.

Cijena čađe u stalnom je opadanju (osim za kanalne). Prosječna cijena kanalnih čađa za gumu kod proizvođača iznosi ~ 220 \$/t. Cijene specijalnih kanalnih čađa za boje mogu iznositi, prema kvalitetu, i do 1700 \$/t. Prosječna cijena pećnih čađa iznosi kod proizvođača ~ 175 \$/t. Ova cijena uključuje čađe vrste MT po cijeni od oko 110 \$/t i čađe SAF-HAF po 200 \$/t.

Proizvodnja čađe u Jugoslaviji datira od 1926, kada je u Bujavici kod Lipika podignuto postrojenje za proizvodnju čađe iz zemnog plina, i to u okviru tada osnovanog poduzeća »Methan« d. d. koje je bilo vlasništvo Prve hrvatske štedionice i njemačkog poduzeća »Rütgerswerke«. Zbog slabijeg kvaliteta čađe i nerazvijenosti domaće industrije gume, ova čađa nije našla primjenu kao punilo, već se na licu mjesta miješala sa smolom, pekla u reortama i pod imenom »carbon« transportirala u Njemačku, gdje se upotrebljava za izradu elektrouglja. Proizvodnja čađe za pripremu »carbona« bila je vrlo skupa i moguća jedino finansijskim i tehničkim aranžiranjem firme »Rütgerswerke«. Kada je 1932 naišla privredna kriza, njemačka firma se povukla, te je tvornica krajem godine obustavila rad.

Razvitkom gumarske industrije pojavile su se i povećane potrebe za čađom, te je tvrtka »Bat'a« iz ČSR poduzela korake da u Jugoslaviji podigne postrojenje za proizvodnju čađe, koja bi se upotrebljavala u industriji gume. Nastojalo se to ostvariti 1933, oper u Bujavici, u koju svrhu su izgrađene specijalne tunelske peći. Kod prvih pokusa nakon puštanja u pogon došlo je do eksplozije te se od produkcije odustalo. God. 1937 ponovo se prišlo radovima za podizanje postrojenja za čađu. Kako se u Bujavici već osjećala nestašica plina, odlučeno je da se novootkriveni bogati plinski izvor Gojlo spoji plinovodom s Kutinom, gdje su se iste godine izgradile nove eksperimentalne peći. Ovo postrojenje proradilo je 1938 i izrađivalo dnevno 800...900 kg plinske čađe tipa FT i MT pod imenom MTC-39 (Methan thermal carbon). Od 1940 do 1945 ova čađa proizvodila se, s manjim prekidima, približno u istim količinama, a izvozila se većim dijelom u Njemačku. 1947 obustavljena je proizvodnja čađe MTC-39 jer je vladalo mišljenje da uslijed eksploatacije plina dolazi do poremećaja naftinih slojeva u reviru Gojlo i opadanja proizvodnje nafte. U tom momentu osjetio se još veći nedostatak čađe na domaćem tržištu, tako da se na brzu ruku prišlo, također u Kutini, postavljanju postrojenja za proizvodnju lampne inaktivne čađe PCP-46 (Pacura carbon pyrogen) koja je kao sirovinu upotrebljavala mazut (ložno ulje). 1952 ovo postrojenje je iz Kutine preseljeno u Bakar kao izdvojeni pogon poduzeća »Metan«. 1954 taj se pogon otcijepio od poduzeća »Metan« i postao samostalno poduzeće pod imenom »Jugokarbon«, ali je ono 1966 obustavilo proizvodnju čađe.

Tablica 4
STRUKTURA PROIZVODNJE PEĆNIH ČAĐA U SVIJETU (u kt)

God.	Ter-mička	%	Plinska	%	Uljna	%	Ukupno
1957	64	8,0	190	23,5	556	68,5	810
1960	66	5,0	170	12,5	1122	82,5	1358
1962	60	4,0	160	11,0	1230	85,0	1450
1964	40	2,5	130	8,5	1400	89,0	1570

Kako je na tržištu rasla potražnja za kvalitetnijim čađama, koje su bile predmetom uvoza, prišlo se 1951 u neposrednoj blizini postrojenja MTC u Kutini podizanju eksperimentalnog postrojenja za proizvodnju poluaktivnih čađa iz tekućih ostataka destilacije nafte (ložnog ulja). Ovo postrojenje proradilo je 1952 i nakon izvršenih rekonstrukcija i proširenja danas proizvodi 3500 t/god. čađe.

Proizvodnja čađe u Jugoslaviji po područjima i vrstama čađe u razdoblju 1955...1964 dana je u tabl. 5.

Tablica 5

PROIZVODNJA ČAĐE U JUGOSLAVIJI OD 1955 DO 1966 (u tonama)

Godina	Tvornica čađe u Kutini					»Jugo-karbon« Bakar	Ukupno
	FT	SRF	GPF	FEF	Ukupno		
1955	310	—	480	—	790	510	1300
1960	490	370	1880	120	2860	1000	3860
1962	530	350	1950	300	3130	1050	4180
1964	550	1020	2050	120	3640	980	4620
1966	—	2000	1700	270	3970	750	4720

Novo postrojenje za proizvodnju čađe u Kutini pušteno je u pogon polovinom 1966. Kapacitet tvornice je 8 kt čađe vrste SAF, ISAF, HAF i FEF i 4 kt čađe vrste SRF i HMF. Proizvodni postupak je prema licenci američke firme J. M. Huber, Texas, USA, a primjenjuje uljni i plinski kontinuirani proces.

LIT.: R. A. Neal, G. St. Perrat, Carbon black, its manufacture, properties and uses, US Bureau of Mines, Bull. 22, Washington 1923. — I. Drogin, Development and status of carbon black, Charleston, So. Carolina 1945. — C. L. Mantell, Industrial carbon, New York 1946. — B. B. Kelyev, П. А. Теснер, Сажа. Свойства, производство и применение, Москва-Ленинград 1952. — N. Friedenstein, B. Davis, The literature of carbon black, Washington 1953. — M. L. Studebaker, Manufacture and properties of carbon black, New York 1957. — E. Ф. Беленский, И. В. Рускин, Химия и технология пигментов, Ленинград 1960. — W. R. Smith, D. C. Bean, Carbon (Carbon black) u djelu: Kirk-Othmer, Encyclopedia of chemical technology, vol. 4, New York *1964. I. Slapničar

ČAMAC, opći naziv za mali plovni objekt, pokretan veslima, jedrom ili motorom, otvoren, djelomično pokriven ili potpuno pokriven, obično ne dulji od 15 m. Veći objekti se klasificiraju kao brodovi, ali se ponekad naziv čamac primjenjuje i za veći plovni objekt, obično velike brzine i po svojstvima sličan čamcu (npr. patrolni čamci do ~150 t istisnine ili čamci s podvodnim krilima za 300 putnika).

Prema načinu pogona čamci se dijele na čamce na vesla, jedrilice i motorne čamce; prema namjeni postoje čamci za opću upotrebu, sportski čamci za natjecanja, čamci za zabavu i odmor i čamci za specijalne svrhe (ribarski, policijski, patrolni, za spasavanje itd.), a prema materijalu od kojeg su izrađeni razlikuju se drveni čamci, čamci od metala (čelični ili od lakih legura) i čamci od plastične mase.

Čamci u različitim zemljama i morima razlikuju se oblikom, materijalom i načinom gradnje; ovi faktori ovise o prilikama i o kulturnom nivou njihovih graditelja. Kako i danas ima naroda na različitim stupnjevima kulture, suvremeni čamci različitih naroda daju sliku razvoja čamca od samog njegovog početka. Npr., najprimitivnije plovilo — splav — još uvijek se upotrebljava u nekim zemljama Južne Amerike, Azije, Afrike i Australije; jednostavni plovci i čamci od pruća i pletera grade se u Africi, Boliviji, Peru, Indiji, Tonkinu i Kini; Eskimi prave čamce od kože; čamci sašiveni od komada kore još postoje u Australiji, Sibiru i Brazilu, a jednostavnim ladvama od izdubenog debla i danas se služe domoroci u nizu nerazvijenih krajeva na svim kontinentima.

Potreba za čamcem javila se već kod prvih ljudi; oni su vodene površine svladavali debtom. Zašiljeno deblo iznutra izdubeno već je monoksilni čamac, ladva.

Prethistorijskih tragova čamaca ima malo. Najznačajniji nalaz, iz paleolitika, urezan u stijenama u švedskoj pokrajini Bohuslän, predstavlja čamac s petnaest veslača, ali bez vesala. Čamac s veslima urezan je na kamenu nađenom u Haggabyju (Upland). Prikaz ribara s harpunom u čamcu, star preko pet hiljada godina, nađen je kod Tanuma (Švedska). Neolitički nalazi nešto su češći; iz mulja su iskapani (na raznim mjestima u Evropi, a i u nas na obali i uz Savu) monoksilni čamci dugi do 15 m i široki do 1 m. Nađeni čamci iz brončanog doba su također monoksilni dotjeranih oblika s pojačanjima-pregradama ostavljenim pri dubljenju. U Glasgowu i Parizu nađeni su čamci od dasaka spojenih bakrenim čavlima. Antički narodi ostavili su mnogo reljefa, slika i modela čamaca. Egipćani su gradili čamce od međusobno povezanih snopova papirusa, s visoko uzdignutim krajevima. Gradili su i čamce od ~1 m dugih dasaka spojenih iznutra prutovima (začetk rebara) i vezanih papirusom. Isprva su se otiskivali motkama o dno, a kasnije veslali lopaticama; za vrijeme V dinastije služe se prvim veslima. Asirci su se služili mješinama pojedinačno, a stavljali su mješine i ispod drvenih splavi;