

Tablica 1
KONCENTRACIJA SVJETSKJE PROIZVODNJE FENOLA U kt
U INDUSTRIJSKI NAJRAZVIJENIJIM ZEMLJAMA

Zemlja	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
USA	558	608	615	686	770	797	791	885	1 020
Japan	84	99	118	127	137	185	196	200	215
Z. Njemačka	156	175	161	198	239	242	221	228	246
Francuska	97	99	100	106	120	123	127	134	138
Italija	105	120	135	137	192	216	223	225	256
V. Britanija	69	93	99	113	123	136	160	175	185
Nizozemska	19	27	48	56	72	74	70	85	87
SSSR	190	205	220	240	260	300	300	300	320
Ostale zemlje	122	174	204	187	237	227	312	368	333
Ukupno	1 400	1 600	1 700	1 850	2 150	2 300	2 400	2 600	2 800

Tablica 2
PROIZVODNJA, UVOZ, IZVOZ I POTROŠNJA FENOLA U kt
U JUGOSLAVIJI OD 1965 DO 1975

Godina	Proizvodnja	Uvoz	Izvoz	Potrošnja	
				izvedena	efektivna
1965	5 571	568	2 346	3 793	2 707
1966	9 490	171	2 715	6 846	2 383
1967	7 854	1 004	714	8 144	5 118
1968	6 588	1 491	4 573	3 506	3 120
1969	6 840	450	4 383	2 906	4 341
1970	7 564	147	4 298	3 413	4 781
1971	7 021	66	1 370	5 717	6 079
1972	9 505	—	1 026	8 479	9 050
1973	9 237	626	3 019	6 844	4 729
1974	9 309	282	2 883	6 708	3 670
1975	7 969	—	445	7 524	...

Proizvodnja i potrošnja fenola u Jugoslaviji. Proizvodnja sintetskog fenola u Jugoslaviji započela je 1965 i to po kumenskom postupku u petrokemijskom kombinatu Organokemijska industrija (OKI) u Zagrebu. Iste godine započela je i proizvodnja fenola po postupku taljenjem natrijum-benzensulfonata s natrijum-hidroksidom u koksiari Boris Kidrič u Lukavcu, ali već je obustavljena 1967. (U tom postrojenju proizvodio se fenol u količini od 6 kt god.) Kapacitet, proizvodnje kumena i fenola OKI-a 1975 bili su 15, odnosno 10 kt/god. Podaci o proizvodnji, uvozu, izvozu i potrošnji fenola prikazani su u tablici 2.

Danas se fenol u Jugoslaviji troši isključivo za proizvodnju fenolnih smola, koje se poglavito upotrebljavaju za mase za prešanje i smole za izradu kočičkih obloga, dekorativnih laminata, lakova. (Ranije se fenol u Jugoslaviji trošio i za izradu intermedijara za herbicide.)

K. Čaušević

LIT.: R. Bemmann, Die technische und wirtschaftliche Bedeutung des Phenols, Berlin 1954. — A. Dierichs, R. Kubička, Phenole und Basen, Vorkommen und Gewinnung, Berlin 1958. — R. Stroch, R. Seydel, W. Hahn, Alkylierung von Phenolen mit Olefinen in der Neuere Methoden der präparativen Chemie, Weinheim 1960. — H. Knopf, O. Lindner, Moderne technische Phenol-Synthesen I i II, Chem. Ing. Techn., 36, 1964. — Industrial chemicals, New York *1965. — H. Lindner, H. Moerschel, E. Böcker, H. Oettel, Phenole und Alkylphenole in der Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, München-Berlin *1970.

K. Čaušević, Ž. Viličić

FIKSACIJA TEKSTILA, stabilizacija tekstilne strukture (vlakana prede, tkanina, pletiva) u određenom obliku, tako da se oblik ne mijenja u normalnim uvjetima upotrebe i njege tekstilnih proizvoda. Fiksacija predstavlja postizanje ravnotežnog stanja u određenim uvjetima za što je potrebno uklanjanje unutarnjih istezanja i napona nastalih u tkivima tokom prerade. (Pod tkivom se razumijevaju sve vrste plošnih tekstilnih proizvoda: tkanine, pletiva, »netkana« tkiva.)

Fiksacija je važan proces u okviru dorade tekstila (v. članke *Apretura*, TE 1, str. 313 i *Dorada tekstilnih proizvoda*, TE 3, str. 384). Njena važnost u tekstilnoj industriji stalno raste kako se povećavaju zahtjevi suvremenog doba u pogledu stabilnosti tekstilnih proizvoda, osobito otpornosti prema gužvanju. Taj porast važnosti fiksacije osjeća se, općenito, kako u proizvodnji tekstila od prirodnih vlakana (pamuka i vune) tako i u proizvodnji tekstila od kemijskih vlakana, poglavito sintetičkih.

Procesi analogni fiksaciji odvijaju se i nenamjerno u mnogim fazama tehnološke prerade i upotrebe tekstila, pa često uzrokuju neželjene efekte (npr. prednaprezanje materijala u preradi, gužvanje, gubitke oblika).

Namjerni i poželjni efekti fiksacije rezultati su uspješno izvedenih procesa industrijske fiksacije i kućanskog glačanja tekstila. Cilj je namjerne i poželjne fiksacije da održi proizvode u izvornom stanju (u kojem su dobiveni ili proizvedeni), ili da dozvoli slobodno opuštanje (relaksaciju) proizvoda, ili da održi proizvode u novom zadanom obliku. Među procesima prve od ove tri skupine nalaze se npr. plošna fiksacija tkiva, proizvodnja prede na navitku; među procese druge skupine ide npr. skupljanje vitica, relaksacijsko skupljanje tkiva, a među procese treće skupine npr. plisiranje, voluminiziranje prede, nabiranje.

Procesi fiksacije klariraju se sa dva stajališta: prema sredstvima koja se pri tome upotrebljavaju ili prema trajnosti efekta fiksacije.

Sredstva koja se upotrebljavaju za fiksaciju jesu: toplina, kemijska sredstva, vlaga, ljepila i naprezanja. Procesi fiksacije izazvani povišenjem temperature (termofiksacija) provode se najčešće u tekstilnoj tehnologiji, a posebno za fiksiranje tkiva izrađenih od sintetskih vlakana ili od mješavina sa sintetskim vlaknima. Proces voluminiziranja prede odvija se također termofiksacijom. Procesi fiksacije kemikalijama odvijaju se unutar vlakana kemijskim umrežavanjem lančanih polimerâ. Vlaga je sredstvo koje samostalnim djelovanjem dovodi veoma sporo ili uopće nikako ne dovodi do fiksacije (sušenje na zraku), ali u nekim slučajevima u kombinaciji s toplinom pojačava efekte termofiksacije (fiksacije parom, vlažno glačanje). Ljepilima i adhezivima postiže se učvršćavanje vlaknate strukture tkiva (vanjska obrada smolama). Naprezanje se upotrebljava u slučajevima kad se žele postići efekti prenaprezanja.

Trajnost efekata fiksacije dijeli fiksaciju na prolaznu, polutrajnu i trajnu ili permanentnu.

Pod *prolaznom fiksacijom* razumijeva se fiksacija kojoj se rezultati poništavaju u uvjetima uobičajene upotrebe, kao malim povišenjem temperature (npr. pri glačanju), kvašenjem (npr. pri pranju), djelovanjem slabih mehaničkih sila (npr. pri nošenju), a u nekim slučajevima već i promjenom vlažnosti zraka koja uvjetuje i veću vlažnost u materijalu (što prouzrokuje npr. gužvanje vunenih tkanina u vlažnim danima).

Pod *polutrajnom fiksacijom* razumijeva se fiksacija proizvoda koji su, što se tiče svojstava stečenih tom obradom, postojani u uvjetima uobičajene upotrebe, ali im se ta svojstva mogu poništiti nekom namjernom obradom u oštrijim uvjetima. Takvi procesi fiksacije jesu npr. glačanje s parom, skupljanje vlakana za tzv. visoko voluminiziranje prede.

U procesima *permanentne fiksacije* zbivaju se u strukturi materijala promjene koje se ne mogu poništiti. Naknadnom obradom trajno fiksiranih proizvoda u oštrijim uvjetima mogu nastupiti samo dalje nepovratne promjene strukture. Većina industrijskih procesa fiksacije pripada toj skupini.

Često ukupni fiksacijski efekt sadrži komponente i prolazne, i polutrajne, i trajne fiksacije, a fiksacija je najuspješnija kad ta tri njena faktora djeluju istovremeno.

O tehnološkim procesima fiksacije tekstilnih proizvoda od prirodnih vlakana već je bilo govora (v. već navedene članke *Apretura* i *Dorada tekstilnih proizvoda*). Dalje pojedinosti o procesima fiksacije tekstila napravljenih od tih materijala, kao i fiksacije tekstila od kemijskih vlakana razmatrat će se i u nekim člancima s područja tekstilne tehnike koji slijede (v. *Pletenje i čipkanje*, *Pređa*, *Pusti* i *klobučarija*, *Tekstilna vlakna*, *Tekstilni proizvodi*, *Tkanje*, *Vlakna*, *umjetna*). Ovaj članak ograničava se na objašnjavanje mehanizma pojava koje se u tim materijalima odvijaju za vrijeme fiksacije.

Fizikalne osnove fiksacije. Ravnotežno stanje sustava tekstilne strukture u kojemu se fiksacijom stabilizira njen oblik u prvom je redu uvjetovano ravnotežom svih sila u sustavu. Međutim, tekstilna tkiva sastoje se od velikog mnoštva različitih strukturalnih jedinica (temeljne strukturne jedinice tkiva jesu vlakna, koja su predenjem udružena u veće strukturne jedinice, pređu, a tek iz nje je tkanjem ili pletenjem dobiveno tekstilno tkivo), pa je veoma teško, a često i nemoguće definirati sve sile među tim elementima. Osim toga, procesom fiksacije uspostavlja se ravnotežno stanje i u svakoj strukturnoj jedinici vlakana na molekularnom nivou. Zbog toga se i uvjeti nastajanja ravnotežnog stanja mogu prikladnije objasniti, slično kao u termodinamičkim

ili gravitacijskim sustavima, sa stanovišta postizanja minimuma slobodne energije (v. *Fazne ravnoteže*, str. 377).

Pri tome je možda ovdje potrebno posebno istaći da neki sustav može mijenjati svoj oblik ili položaj samo kad se tom promjenom smanjuje njegova slobodna energija. Kad ova dosegne minimalnu vrijednost za dane uvjete, sustav dospijeva u ravnotežno stanje u kojem se njegov oblik ili položaj ne može više mijenjati. Obrnuti zaključak ne vrijedi: ako se oblik ili položaj sustava ne mijenja, to još ne znači da je slobodna energija sustava dosegla minimum, te da se sustav nalazi u stanju potpune ravnoteže. Naime, promjenama ka ravnotežnom stanju mogu se suprotstavljati različiti otpori (npr. otpor trenja klizanja) koji se pojavljuju kao energetske barijere, pa sustav u stanju izvan ravnoteže ostane kao »zamrznut«.

Promjena stanja i stanje ravnoteže neke tekstilne strukture može se predočiti s pomoću analogije sa slučajem mehaničke ravnoteže kuglice u zdjeli sa stijenkama paraboloidnog oblika (sl. 1). Ako se kuglica tog sustava nalazi bilo gdje na stijenci zdjele iznad dna, ona će se, ukoliko je neki otpor ne zakoči, kretati prema dnu zdjele, gubeći pri tome potencijalnu energiju E . Ako je, pak, kuglica na dnu zdjele, gdje joj je potencijalna energija minimalna, ona je u (stabilnom) ravnotežnom stanju i miruje. Kao presjek zdjele uzeta je krivulja koja kvalitativno prikazuje ovisnost potencijalne energije kuglice o horizontalnoj udaljenosti x njenog položaja od osi simetrije zdjele. Tada su matematički izrazi kriterija ravnoteže

$$\frac{\partial E}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} > 0.$$

Budući da su tekstilne strukture složeni sustavi, takve krivulje i kriteriji mogu poslužiti samo za načelno, čisto kvalitativno shvaćanje promjena koje se odvijaju tokom fiksacije.

Prema tom kriteriju tokom procesa fiksacije odvijaju se promjene u cjelokupnoj tekstilnoj strukturi kojima minimum energije sustava dospijeva u novi položaj, kako je to shematski predstavljeno na sl. 1.

U gruboj analogiji sa sustavom od kuglice i zdjele o kojem je prije bilo govora (krivulja 1), to se može predočiti tako kao da su se fiksacijom stijenske zdjele savile pa se kuglica spustila na niže mjesto (krivulja 2). Dalje moguće promjene potencijalne energije sustava pod vanjskim utjecajima ne bi se više odvijale u skladu sa zakonom što određuje krivulja 1, nego u skladu sa zakonom što ga određuje krivulja 2. Potpune promjene strukture takve vrste skoro su neizbježno trajne.

Međutim, za opis stanja tekstilnih struktura potrebno je mnoštvo parametara, a kriterij minimalne energije za stanje ravnoteže mora biti zadovoljen za svaki pojedini parametar. Drugim riječima, već navedeni matematički izrazi kriterija ravnoteže tu su samo tipični članovi dugog niza uvjeta za različite parametre (x je samo opći predstavnik čitavog niza parametara). Npr., ako se fiksira pređa ili tkanina uz istezanje u jednom smjeru, prisutan je samo jedan vanjski parametar. Međutim, u procesu sudjeluju i odnosi pređe u tkanini, odnosi vlakana u pređi i molekularni poredak u vlaknu. U većini slučajeva i vanjski parametar deformacije nije jednosmjerni.

Druga okolnost koja komplicira promatranje jest u tome što u tekstilnoj strukturi redovno postoje energetske barijere, pa i više minimuma slobodne energije. Pri fiksaciji se ravnotežno stanje sustava pomiče iz jednog u drugi minimum. Dva su takva karakteristična slučaja shematski prikazana na sl. 2. U prvom od ta dva slučaja (sl. 2 a), kad sustav prijeđe iz stanja s nižim minimumu-

mom u stanje s višim minimumom slobodne energije, vjerojatno će fiksacija biti prolazna, a u drugom, kad sustav prelazi iz jednog stanja u drugo u suprotnom smjeru, trajna.

Prijelaz iz jednog energetskog minimuma u drugi uzrokuju različiti faktori: toplina, naprezanje, kemikalije i vlaga. Toplina uzrokuje u prvom redu promjene na molekularnom nivou, jer na višim temperaturama molekularni lanci postaju pokretljiviji te mogu stvarati nove veze. Ali utjecajem topline dolazi do promjena i u makroskopskoj strukturi tekstilnog tkiva. Naprezanjem tekstilnih materijala također dolazi do prijelaza iz jednog energetskog minimuma u drugi, što dovodi ili do gubitka efekta fiksacije ili, što je zapravo isto, do stvaranja novog efekta. Kemikalije i vlaga ne uzrokuju skokove iz jednog energetskog minimuma u drugi, nego induciraju promjene među tim stanjima sustava time što uklanjaju neke manje energetske barijere koje kočile prijelaze u nove energetske minimume. Promjenom vanjskih uvjeta (sušenjem ili uklanjanjem kemikalija) ove zapreke ponovo nastaju na novim položajima, pa tako nastaje nova prolazna fiksacija. Kemikalije obično uzrokuju veće promjene nego vlaga, pa su i efekti fiksacije kemikalijama trajniji od efekata fiksacije vlagom. Kemikalijama se mogu stvarati nove veoma visoke barijere (umrežavanje molekula poprečnim kovalentnim vezama upotrebom različitih smola). Efekti takve fiksacije veoma su postojani. Fiksacija vlagom uvijek je prolazna.

Promjena unutarnjih parametara tekstilne strukture nikako ne može biti sasvim povratna u svim pojedinostima, jer se obično povratnom promjenom vanjskih uvjeta koja uzrokuje povrat fiksacije ne mogu ni sve molekule u vlaknima, ni sva vlakna u tkivu vratiti u položaje jednake onima koji su postojali prije nego što je započeo taj ciklus procesa. Tako npr. u tkanini koja je bila najprije jako zgužvana, a zatim izglacana, pojedina se vlakna neće više nalaziti u međusobnim položajima u kojima su se nalazila prije gužvanja. Zbog toga se u praksi fiksacije može upravljati samo promjenama nekih parametara, koje onda slučajno uzrokuju i promjene ostalih.

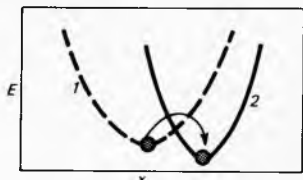
Iako se zbog prevelike složenosti tekstilnih struktura ravnoteže sustava tekstilnih tkiva ne mogu pomoću navedenih kriterija egzaktno određivati, oni ipak predstavljaju polaznu točku za teoretsko razumijevanje fiksacije. Tako se općenito za tekstilni sustav može napisati:

$$\delta E = \sum \delta E_{v1} + \sum \delta E_m + \sum \delta E_{vez},$$

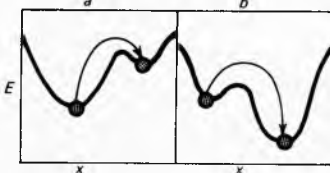
gdje je δE ukupna promjena slobodne energije u tekstilnom sustavu, a $\sum \delta E_{v1}$, $\sum \delta E_m$ i $\sum \delta E_{vez}$ zbrojevi ukupnih promjena unutar vlakana, među vlaknima i u nevlaknatoj komponenti (npr. vezivu ili ljepilu). Prvi član ($\sum \delta E_{v1}$) prisutan je kod svake promjene vanjskih parametara i u svakom tekstilnom sustavu. Drugi član ($\sum \delta E_m$), koji predstavlja promjene energije među vlaknima, neće biti prisutan ako se promjeni vanjskih parametara podvrgne pojedinačno vlakno, ali je prisutan u svakom tekstilnom mnogovlaknatom sustavu (pređi, tkaninama, pletivima i netkanom tkivu). Treći član $\sum \delta E_{vez}$ rjeđe je prisutan u tekstilnim sustavima, i to samo u nekim netkanim tkivima i lijepljenim, prevučanim te specijalno apretiranim tkaninama.

Mehanizmi fiksacije tekstilnih vlakana i tkiva. Zbog malo prije navedene okolnosti da su slučajevi kad se mora voditi računa o utjecaju člana $\sum \delta E_{vez}$ rijetki, dalje se razmatranje ograničava uglavnom na promatranje procesa fiksacije pri kojima se odvijaju energetske promjene unutar vlakana i među vlaknima bez prisutnosti vezivnih sredstava. U skladu s time i razmatranje glavnih mehanizama fiksacije ograničava se na ona koja se odvijaju na dva nivoa strukture tekstilnih tkiva: pri promjenama u pakovanju dugolančanih molekula unutar vlakna i promjenama u pakovanju vlakana unutar tekstilnog tkiva.

Mehanizmi fiksacije unutar vlakana. Pod mehanizmom te vrste općenito se razumijevaju prijelazi za vrijeme kojih se zapaža smanjenje krutosti vlakana, bez obzira na to kojim su sredstvima uzrokovani: toplinom, vlaženjem ili djelovanjem kemikalija. To znači da pod djelovanjem tih faktora dolazi do razlabavljenja jednog dijela krute strukture, te se ova tada može deformirati, a nakon prestanka njihovog djelovanja struktura se »zamrzava« (skrutnjava) u deformiranom stanju.



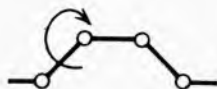
Sl. 1. Shematski prikaz utjecaja promjene položaja minimuma energije sustava



Sl. 2. Shematski prikaz promjena tekstilne strukture sa dva minimuma slobodne energije fiksacijom

Praktički se sva vlakna sastoje od dugolančanih makromolekula koje su mjestimično poprečno povezane van der Waalsovima, polarnim ili vodikovim vezama. Na mjestima poprečnog povezivanja među makromolekularnim lancima nastaju više ili manje sredena (kristalna) područja, pa se danas smatra da se vlakna sastoje od kristalnih i amorfnih područja (v. *Tekstilna vlakna*). Upravo su oni dijelovi lančanih makromolekula koji prolaze kroz nesredeno (amorfnu) područje podložni deformaciji i kod fiksacije vlakana nastoje se i oni učvrstiti u novom položaju. To se postiže na više načina: ukrućivanjem lanaca makromolekula koje su pokretne oko veza C—C, stvaranjem uvjeta za nastajanje novih poprečnih međumolekularnih veza, promjenama u kristalnim područjima koja vode ka stvaranju većih i pravilnijih kristala, te stvaranjem novih kovalentnih veza među makromolekulama.

Ukrućivanje lanaca makromolekula. Lančane makromolekule u onim dijelovima koji prolaze kroz amorfnu područja mogu rotirati oko lančane osi na mjestima gdje postoji veza C—C, što je slučaj kod poliolefinskih i poliamidnih vlakana (sl. 3). Ako se ti polimeri zagrijavaju, vibracije veza C—C postaju sve jače te na temperaturi prijelaza drugog reda imaju upravo toliko energije da mogu svladati energetske barijere, lanci postaju savitljiviji i mogu se deformirati po želji. Hlađenjem lanci se ponovno skrutnu i ostaju prolazno fiksirani u novim položajima.



Sl. 3. Rotacija veze oko osi lanca

Medulančano povezivanje linearnih makromolekula može se provesti kod onih makromolekula koje imaju sposobnost stvaranja van der Waalsovih, polarnih ili vodikovih veza, pa se fiksacijom stvaraju uvjeti za nastajanje novih ili čvršćih veza na taj način da se lančano makromolekule jedne drugima približe. Toplina je glavni uzrok tih promjena, pa je to tipičan mehanizam termofiksacije. Visoke temperature same uzrokuju termičke vibracije koje mogu svladati energetske barijere i najjačih od ovih veza (vodikovih koje su čvršće od polarnih, pored polarnih koje su čvršće od van der Waalsovih), a hlađenjem nastaju nove veze na drugim mjestima. U poliolefinskim vlaknima (polietilenskim, polipropilenskim) djeluju samo slabe van der Waalsove sile, koje sprečavaju slobodnu rotaciju veza C—C u lancima. U celuloznim vlaknima dominantnu ulogu imaju vodikove veze koje nastaju između skupina —OH, a u proteinskim i poliamidnim između skupina —CO—NH dvaju susjednih lanaca.

Vodikove veze cijepaju se ne samo na višim temperaturama nego u prisutnosti vlage i na nižima. Na temperaturi ispod 100 °C, uz prisustvo vode, vodikove su veze u stanju dinamičke ravnoteže, što znači da se neprekidno kidaju i nanovo nastaju na drugim mjestima. Čak i na temperaturama do 35 °C veća vlažnost zraka uzrokuje pojavu fiksacije suhih vlakana kao posljedicu apsorpcije vlage u vlaknu (npr. gužvanje vuninih tkanina u vlažnim danima). Pokretne molekule vode kidaju vodikove veze među lancima i same se vežu na tim mjestima također vodikovim vezama. Sušenjem se molekule vode uklanjaju iz vlakana, ali se na tim mjestima više ne stvaraju iste vodikove veze, pa vlakno zadržava novi oblik. Zbog toga su tekstilni sustavi s vodikovim vezama (npr. pamuk, regenerirana celulozna vlakna, proteinska vlakna i poliamidna vlakna) lako fiksiraju vlagom.

Promjene u kristalnim područjima odvijaju se pod djelovanjem topline i naprezanja i predstavljaju osnovni mehanizam ireverzibilnog (trajnog) fiksiranja. Do tih promjena dolazi na temperaturama ispod temperature taljenja, kada dolazi do tzv. preuranjenog taljenja i pokretanja malih i nepravilnih kristalita, pa se rekristalizacijom stvaraju novi, veći, savršeniji i pravilniji kristali. Hlađenjem se stabilizira rekristalizirana struktura. Sličan mehanizam fiksacije nastupa u poliesterskim vlaknima koja kristaliziraju kad se istežu.

Kemijsko poprečno vezivanje postiže se ugradnjom poprečnih kovalentnih veza među lancima makromolekula (umrežavanjem). U keratinu vune već postoje poprečne kovalentne veze (cistinske veze); one se mogu razoriti kemijskim sredstvima, a nakon toga mogu se stvoriti nove kovalentne veze na novim mjestima. Inače, da bi se postiglo poprečno povezivanje, vlakna se impregniraju pretkondenzatima sintetskih smola. Nakon kondenzacije dolazi

i do poprečnog umrežavanja, pa vlakna ostaju u danom obliku (v. u već navedenim člancima *Apretura* i *Dorada tekstila*). Fiksiranje umrežavanjem može biti više ili manje trajno, ovisno o vrsti upotrebene smole.

Djelovanje mehaničkih sila. Već opisani mehanizmi odvijaju se uz djelovanje razmjerno slabih mehaničkih sila. Međutim, fiksacija unutar vlakana može se izvesti djelovanjem jačih mehaničkih sila i bez povišenja temperature i/ili djelovanja vlage i kemikalija. Time se, uz uvjet da je naprezanje dovoljno veliko, mogu uzrokovati sve već navedene pojave: rotacija veza C—C, kidanje poprečnih međumolekularnih veza i deformacija kristala. Obično su to vlačne sile kad se materijal napinje iznad granice popuštanja ili sile savijanja. Takva naprezanja obično uzrokuju trajnu fiksaciju, ali često i povrativo pod utjecajem topline ili vlage.

Kad su mehaničke sile toliko jake da uzrokuju trajno raskidanje sustava, ne može, dakako, biti govora o nekom mehanizmu fiksacije. (Npr. kad se raskinu kovalentne međulančane veze, jer se one, za razliku od vodikovih, ne mogu više uspostaviti, ili kad dođe do pucanja makromolekularnog lanca.)

Mehanizmi fiksacije među vlaknima. Za te mehanizme važna su dva temeljna efekta. Jedan od njih je otpor trenja među vlaknima, a drugi međusobno povezivanje vlakana slično kao i kod međulančanog ili međufibrilarnog vezanja unutar vlakana.

Trenje među vlaknima. Unutar skupa vlakana djeluju poprečne sile predočive normalnim opterećenjem N i koeficijentom trenja μ među vlaknima. Bez obzira na to u kojem smjeru djeluje sila, za svaki relativni pomak vlakana mora se utrošiti rad da bi se savladalo trenje, a to znači da član $\Sigma \delta E_m$ mora biti uvijek pozitivan, što se formalno izražava uvrštenjem apsolutne vrijednosti pomaka $|\delta x_m|$ u jednadžbu ravnoteže. Prema tome u tom slučaju vrijedi jednadžba:

$$\delta E_m = \mu N |\delta x_m|.$$

Kako je uvjet za uspostavljanje stabilne ravnoteže sustava vlakana općenito $\delta E > 0$, to znači da se ravnoteža uspostavlja za svaki mogući pomak δx iz ravnotežnog položaja i , ako su ostali članovi u jednadžbi ravnoteže sustava ($\Sigma \delta E_{v1}$, $\Sigma \delta E_{v2}$) dovoljno slabi da se mogu zanemariti, da su mogući mnogi ravnotežni relativni položaji vlakana, pa zbog toga i mnogi oblici u kojima se sustav može prolazno fiksirati tim efektom. Što je utjecaj mehanizma fiksacije unutar vlakana jači, a među vlaknima slabiji, to je područje mogućih stabilnih oblika sustava više ograničeno, ili kako se to kaže u praksi, fiksacija je oštija.

Fiksacijski učinci mehanizmom trenja među vlaknima teže su uočljivi nego oni unutar vlakana, ali detaljnija promatranja pokazuju da su oni vrlo važan faktor kod fiksacijskih postupaka. Određivanje veličina δx_m i N vrlo je složen posao, jer se bazira na složenoj mehanici, pa su dobiveni rezultati još uvijek malobrojni.

Medusobno povezivanje vlakana obuhvaća vezivanje posredstvom vodikovih veza među molekulama susjednih vlakana. Zbog toga se npr. pamučne tkanine ukrućuju sušenjem i glačanjem. Vlakanca celuloze u papiru drže se zajedno zbog istog razloga. Medusobno povezivanje vlakana može se postići i sljepljivanjem pomoću adheziva i ljepila kojima se za tu svrhu tkiva prethodno impregniraju.

Postupci fiksacije tekstilnih materijala. Zbog različite građe pojedinih vrsta tekstilnih vlakana (v. *Tekstilna vlakna*) u različitim vlaknima djeluju i različiti mehanizmi fiksacije, pa su i postupci fiksacije za pojedine skupine vlakana različiti.

Fiksacija celuloznih materijala (pamuka i regeneriranih celuloznih vlakana). Industrijska fiksacija tih vlakana izvodi se uglavnom mehanizmima stvaranja novih vodikovih veza i kemijskog umrežavanja.

Postupci stvaranjem novih vodikovih veza. U tom se slučaju s pomoću bupriva (vode ili lužine) raskinu postojeće vodikove veze u nesredeni amorfnim područjima vlakna, odnosno među fibrilima (u slučaju pamuka), čime se struktura oslobodi napetosti, a sušenjem stvaraju nove veze koje stabiliziraju novo nastalo stanje s minimumom energije.

Tim se mehanizmom koristi npr. postupak mercerizacije natrijum-hidroksidom (v. *Apretura*, TE 1, str. 316). U novije se vrijeme kao bubrivno uspješno upotrebljava tekući amonijak jer jače kida vodikove veze, lakše prodire u unutrašnjost vlakna i lakše se uklanja, pa omogućuje brže i jednostavnije izvođenje operacija. Fiksacijski efekt mercerizacije može se uspješno povećati naprežanjem za vrijeme ispiranja i povišenjem temperature sušenja. Time se ne samo povećava broj vodikovih veza nego još i poboljšava orijentacija fibrilarne strukture pamuka.

Postupci kemijskim umrežavanjem. Stvaranje poprečnih kovalentnih veza među linearnim makromolekulama i fibrilima (kod pamuka) jest proces kojim se celuloznim vlaknima može poboljšati otpornost prema gužvanju i gubitku oblika. Nažalost, time se istovremeno pogoršavaju mehanička svojstva tih materijala kao što su čvrstoća i otpornost prema trošenju. Princip tog fiksiranja sastoji se u impregniranju materijala pretkondenzatom, a kondenzacija se izvodi za vrijeme toplinske obrade. Kemijsko umrežavanje celuloznih materijala može se izvesti i u mokrom i u suhom stanju, pa se govori o mokrom, odnosno suhom fiksiranju celuloznih materijala umrežavanjem.

Mokro fiksiranje umrežavanjem izvodi se u prisutnosti vode koja izaziva popratno bubrenje celuloznog materijala. Sredstva za umrežavanje su reaktivne smole na bazi karbamida uz prisustvo kiseline kao katalizatora. U novije vrijeme za to se također upotrebljavaju i neki sulfoni (npr. bis-hidroksi-etil-sulfon) u lužnatoj kupelji. Fiksacija tim postupcima postiže se stvaranjem poprečnih kovalentnih veza među molekulama celuloze, među fibrilima (u slučaju pamučnog vlakna), ali i stvaranjem vodikovih veza kao kod fiksacije pomoću bubriva. Time se objašnjava okolnost da se takvom obradom ne smanjuje sposobnost upijanja vlage, i što se otpornost prema gužvanju samo djelomično poboljšava.

Suho fiksiranje umrežavanjem izvodi se samo povišenjem temperature materijala, koji su prije toga tretirani pretkondenzatima urea-melamin-formaldehidnih ili reaktivnih smola. Iako i u toj fiksaciji sudjeluju vodikove veze (jer je u robu prisutno 6—14% vode), sudjelovanje kovalentnih veza tu je mnogo značajnije, pa se kao proizvodi dobivaju materijali s manjom sposobnošću upijanja vlage i bubrenja. Ako se takva fiksacija provodi uz naprežanje materijala na istezanje, dolazi do smanjenja mogućnosti klizanja strukturnih elemenata jednih po drugima, pa fiksirani materijali imaju manju čvrstoću, istezljivost i savitljivost, ali je njihova moć elastičnog oporavka od deformacije i time otpornost prema gužvanju veća. Sva svojstva »lake njege« tekstila (tzv. »minimum glačanja«, »neglačanja« i »lakog održavanja«) posljedice su tih efekata.

Posebni je postupak suhe fiksacije umrežavanjem proizvodnja tzv. »permanent press« odjeće. U tom postupku tkanine se također tretiraju sredstvima za umrežavanje i katalizatorima, ali se umrežavanje izvodi tek pošto je oblikovanje odjevnih predmeta završeno. Zbog organizacijskih i tehnoloških teškoća (sredstva za umrežavanje moraju biti stabilna za vrijeme skladištenja tkanina) primjena tog postupka još je ograničena.

Fiksacija vunenih materijala. Od početka upotrebe vune kao tekstilnog materijala, toplina i vlaga (u obliku vruće vode i pare) osnovna su sredstva koja se upotrebljavaju za njihovo fiksiranje. Međutim, veoma je teško upotrebom samo topline i vlage fiksirati vunen materijale tako da oni zadrže svoj oblik za vrijeme upotrebe. Posljednjih godina istraživači su predložili niz postupaka fiksacije vunenih materijala obradom kemikalijama i parom koji bi tim materijalima mogli dati trajan oblik. Međutim, niti jedan od tih postupaka nije dao zadovoljavajuće rezultate, bilo zbog toga što je teško ostvariti kontrolu procesa a time i omogućiti reproduciranje, bilo zbog degradacije vlakana, gubitka čvrstoće, lošeg opipa ili štetnog utjecaja na primanje bojila.

Kako pokazuju dosad provedena ispitivanja, mehanizmi fiksacije vunenih vlakana mogu se odvijati ili uz nastajanje novih vodikovih veza (prolazna fiksacija) ili uz kidanje cistinskih veza C—C i stvaranjem novih poprečnih kovalentnih veza (trajna fiksacija).

Fiksacija sintetskih vlakana. Danas su mnogi polimeri (npr. poliamidi, poliesteri, poliakrilnitril, polietilen, polipropilen) sirovine za sintetska vlakna (v. *Tekstilna vlakna*; također članak *Elektrotehnički materijali*, str. 52).

Iako poliamidi i poliesteri imaju općenito slične karakteristike, svojstva njihovih vlakana razlikuju se u pojedinostima. Poliakrilnitrilna i poliolefinska vlakna znatno se razlikuju po svojim svojstvima. Zato se i mehanizmi fiksacije sintetskih vlakana razlikuju ovisno o tipu polimera od kojega su izrađena.

Fiksacija se svih tih vlakana u principu provodi djelovanjem topline; njome im se mijenjaju svojstva i unutarjni molekularni poredak. Najvažnija promjena molekularnog poretka jest promjena orijentacije lančanih makromolekula u odnosu prema osi vlakna, ali pri tome dolazi i do promjene kristalnosti. Konačno, fiksacijom može doći i do oksidativne, termalne ili kemijske razgradnje polimera. Različite vrste sintetskih vlakana fiksiraju se za vrijeme od 3—30 sekundi na temperaturama od 150—225 °C, ovisno o tome koji je polimer posrijedi i koji je oblik proizvoda (da li je to npr. pređa, tkanina ili pletivo). Mehanizam prolazne fiksacije sintetskih vlakana jest kidanje vodikovih veza (npr. između skupina —CO—NH— u poliamidima ili benzenskih prstenova u poliesterima) i nastajanje novih i povoljnijim položajima. Kod trajne fiksacije nastaju promjene u udjelu kristalnosti (općenito se postiže veća kristalnost) i veličini kristalnih područja. Specijalni postupak termofiksacije je teksturiranje pređe (v. *Pređa*).

LIT.: J. W. S. Hearle, L. W. C. Miles, *The setting of fibres and fabrics* Watford Herts, 1971.

M. Žerdik D. Raffaelli

FILTRACIJA (filtriranje), operacija razdvajanja heterogenih mješavina tekućih (kapljevitih ili plinovitih) i čvrstih tvari pomoću šupljikave pregrade (*filterskog sredstva*) koja je propusna samo za tekuću komponentu mješavine (*filtrat*). Šupljikava pregrada smještena je u prikladnoj napravi ili aparatu (*filtru*). Čvrste čestice zaustavljaju se na filterskom sredstvu tvoreći *filterski kolač* kroz koji tekućina protječe, ili se adsorbiraju na elementima filterskog sredstva. Protjecanje tekućine kroz filter uzrokovano je razlikom između tlaka ispred i iza filterskog sredstva (u smjeru protjecanja), a ta razlika može nastati djelovanjem bilo hidrostatskog tlaka tekućine (gravitacijom) ili drugim načinom postignutog pretlaka ispred šupljikave pregrade, bilo podtlaka iza nje, bilo centrifugalnom silom.

U ovom članku obradit će se samo razdvajanje mješavina čvrstih i kapljevitih tvari pri kojem protjecanje tekućine kroz filter uzrokuje bilo hidrostatski tlak, bilo pretlak ili podtlak. Odjeljivanje čvrstih čestica filtracijom iz plina u kojem su suspendirane obradeno je u članku *Čišćenje plinova*, poglavlju *Mehanički filteri za plinove*, TE 3, str. 124, a filtriranje u polju centrifugalne sile u članku *Centrifugiranje*, TE 2, str. 590.

Naziv filtriranje za operaciju odjeljivanja čvrstog od tekućeg i naziv filter za napravu kojom se ovo vrši nalaze se već u djelima Galena iz 2. st. i Paladijuma iz 4. st., a u općoj su upotrebi u 16. st. Riječ »filter« vjerojatno potječe od latinske riječi *filtrum* (feltrum), koja znači pust (»filc«).

Filtracijom se često nazivaju i operacije za koje taj naziv nije u skladu s uvodno navedenom definicijom, npr. kad se za odvajanje čvrstih tvari dispergiranih u plinovima upotrebljava naziv elektrofiltracija (v. *Čišćenje plinova*, TE 3, str. 121).

U usporedbi s drugim načinima odjeljivanja čvrstog od kapljevitog, kao što je npr. sedimentiranje (v. *Sedimentacija i dekantacija*) filtriranje ima ove prednosti: odjeljivanje čvrstih suspendiranih čestica općenito je brže i potpunije; sadržaj vlage kolača je nizak (do ispod 5%); mogu se odvajati vrlo sitne čestice i čestice male gustoće, koje se uslijed male brzine taloženja ne bi mogle odijeliti sedimentiranjem; filterski aparati zauzimaju manje prostora. Nedostatak je filtriranja u tome što je provedba te operacije razmjerno skupa.

Mogu se razlikovati dva načelno različita načina djelovanja filterskog sredstva i, prema tome, dvije grupe filtracijskih postupaka, nazvane filtriranje kroz kolač i filtriranje kroz filtersko sredstvo. Pri *filtriranju kroz kolač*, čvrste se čestice zaustavljaju na površini filterskog sredstva, nagomilavaju se i stvaraju kolač, kojemu debljina neprestano raste. Pri *filtriranju kroz filtersko sredstvo* ili, kako se još često naziva, dubinskom filtriranju, čvrste se čestice zaustavljaju unutar filterskog sredstva. Ponekad se spominje i filtriranje kroz sito, kod kojeg isključivo veličina otvora filterskog sredstva određuje veličinu čestica koja će se odijeliti. Dvije su mogućnosti provođenja takve filtracije: prosijavanje relativno krupnih čestica i odjeljivanje vrlo sitnih čestica pomoću membrane veličine otvora između 10 μm i 2 nm, tzv. ultrafiltracijom (v. *Prosijavanje i Ultrafiltracija*).