

Dr. Samay Géza

Vázerősítő anyagok alkalmazása



3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
		61 Ce	62 Pr	63 Nd	64 Pm	65 Sm	66 Eu	67 Gd	68 Tb	69 Dy	70 Ho	71 Er	72 Tm	73 Yb	74 Lu	75 Hf	76 Ta
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf
		106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub									

**NSZFI**
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:
Gumiipari technikai feladatok

A követelménymodul száma: 7007-08 A tartalomlem azonosító száma és célcsoportja: SzT-013-50

VÁZERŐSÍTŐ ANYAGOK ALKALMAZÁSA

Az erősített gumitermékek alkotják a gumitermékek döntő többségét. A gumiabroncsok, a szállítóhevederek és a műszaki gumitömlők szilárdságát és feladatuk ellátására való alkalmasságát az okozza, hogy erősítő anyagokat tartalmaz. A világ kaucsuk felhasználásának több, mint felét az abroncsgyártás használja fel. Ezért e területen döntő fontosságú a gumiiparban használatos vázerősítő anyagok és azok vizsgálati módszereinek ismerete, valamint a gumival történő társítási technológiák elsajátítása.

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A vállalata válaszút előtt áll: vagy továbbra is azokat a termékeket gyártja, amelyeket eddig, és amelyek a gyár számára egyre csökkenő bevételt és nyereséget biztosítanak, vagy tartalékait felhasználva új termékek után néz. A vállalat vezetősége pályázatot írt ki arra vonatkozóan, hogy tegyenek javaslatot új technológiák bevezetésére. Ön úgy gondolja, hogy valamilyen erősített gumiterméket kellene gyártani, hiszen ez iránt egyre nagyobb a kereslet, és ezek többségét termoplasztikus műanyagokkal nem lehet előállítani a használat közben keletkező esetleges hőfejlődés miatt. A javaslat megtételéhez szükség van a vázerősítő termékek ismeretére, a vázerősítő anyagok ismeretére, tulajdonságaik áttekintésére, és vizsgálati lehetőségeik kihasználására, valamint a vázerősítő anyagok alkalmazásához szükséges gumiiipari technológiák felhasználására. Az ön feladata, hogy tekintse át a gumiiipar számára rendelkezésre álló vázerősítésű anyagokat, ezek tulajdonságait és alkalmazási területeit. Ezek után a vázerősítő anyagok vizsgálatára és minősítésére alkalmas laboratórium berendezésére és működésére adjon javaslatot, majd gyűjtse össze azokat a termékeket és az ezekhez vezető technológiákat, amelyeket a piacon jelenleg nagy mennyiségben kínálnak, és nyereséggel helyezhetők el.

A következő fejezetekben megtalálhat minden olyan információt, amelyekre szüksége van ahhoz, hogy a feladatait ellássa. Olvassa el ezeket gondosan, és döntsön arról, hogy mit javasol főnökeinek megvalósításra. A világ állandó változásban van, állandó fejlesztés zajlik, különösen az új vázanyagok kifejlesztése területén, a piacon kínált termékek minél jobb minőségének elérése érdekében. Azok az anyagok, amelyeket néhány évtizeddel ezelőtt még használtak, ma már kimentek a divatból, helyüket más anyagok foglalták el. A modern szilárdsághordozókat, mint az aramid szálak, vagy a szénszálak a nagy szilárdságuk miatt alkalmazzák előszeretettel, azonban vannak olyan egyéb tulajdonságaik, amik nem minden területen teszik lehetővé a felhasználást. Ilyenek pl. az ár, vagy a kaucsukokkal való összeférhetőség. Általánosságban mondható el, hogy a klasszikus szálanyagok, mint szilárdsághordozók a mai napig használatban vannak, és különösen a környezetvédelmi irányzatok miatt a biológiai úton előállítható szálak anyagok a jövőben valószínűleg reneszánszukat fogják élni. Így ezeket az anyagokat mindenképpen ismerni érdemes.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

SZILÁRSÁGHORDOZÓ ANYAGOK, ÉS MŰKÖDÉSÜK

A szálak anyag- gumi rendszer

A szálak anyag alkalmazása tette lehetővé a gumi mai értelemben vett széleskörű alkalmazását, gondoljunk arra, hogy a gumiipar fejlődésének a gumibroncsgyártás milyen gyorsító hatást jelentett mind az anyagok, mind a technológiák kifejlesztése szempontjából. A járműipar robbanásszerű fejlődése ugyanis olyan mennyiségű és minőségű gumibroncsot igényelt, amelyet csak tömegtermeléssel lehet gyártani, és ehhez nagyságrendileg más mennyiségeket és minőségeket kellett előállítani. A szálanyag-gumi rendszerek két olyan anyag-típus házasítását jelenti, amelyek előnyös tulajdonságai kiegészítik egymást. A gumi védi a szilárdsághordozó anyagot az agresszív külső behatások ellen (korrózió, mechanikai sérülés, oxidatív öregedés, stb.). Mint közbeékelődő ágyazó anyag megakadályozza az erősítő szálak összeérését és horzsolódását, egyenletes eloszlást biztosítva megoldja a szálak egyenletes terhelését, ezzel nagyobb teherbírását eredményezi, és szigetelő, gáz és folyadékzáró hatása miatt meggátolja a fluidumok kijutását a szilárdsághordozó által közrefogott, és védett térből. Az erősített gumirendszereket tehát tulajdonságaik alapján nagy deformációkkal járó dinamikus igénybevételnek kitett hajlékony, rugalmas nagyszilárdságú szerkezeti elemekként alkalmazzák. Ma az erősített gumirendszereket csak ott használják, ahol a hőfejlődés meghatározó, és nagy dinamikus igénybevételekkel kell számolni (gumibroncsok, felfüggesztések, tömlők, nehéz hevederek, tömítések, stb.). Azokon a területeken, ahol ilyen tulajdonságokra nincs szükség (pl. ponyvák, gumi lábbelik, matracok, stb.), termoplasztikus műanyagokat (PVC, polietilén, stb.) használnak, mert ezek olcsóbbak, és gyártási technológiájuk egyszerűbb.

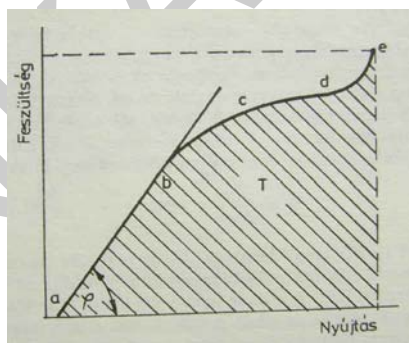
A rendszer igénybevételei

A szálanyag–gumi rendszerben a nyersanyagok kiválasztásához ismerni kell a használat közben fellépő mechanikai igénybevételeket. Egyes termékeknél a számítás viszonylag egyszerű, mint pl a hajtószíjak és szállító hevederek esetén, más esetekben viszont a termék bonyolult alakja és a fellépő igénybevételek komplex volta miatt analóg számítási módszerek nem, vagy csak korlátozottan használhatók, és pontosságuk meglehetősen rossz. Ezekben az esetekben a véges–elemes számítási módszerekkel közelítenek. A módszer lényege az, hogy az erősítőanyag–gumi rendszert véges számú térfogat elemre bontják, és a térfogat elemek érintkezési pontjain lévő csomópontok elmozdulásait vizsgálják különböző igénybevételek hatására. Így háromdimenziós számítások esetén legalább háromszor annyi egyenletből álló egyenletrendszer megoldására van szükség, mint amennyi csomópont van a modellben. Könnyen belátható, hogy ezek a számítógépek csak nagyteljesítményű számítógépek alkalmazásával lehetségesek. A számítások helyességének ellenőrzése azonban csak valós kísérletek eredményeivel való összevetés útján lehetséges.

MUNKKANYAG

Húzás esetéről beszélünk, amikor a rendszer egy irányban működő erőhatás éri, amely annak lineáris méreteit az erőhatás irányában növeli. Mivel az erősítő anyagok modulusa több nagyságrenddel magasabb a gumiénál, a rendszer modulusát a szálal anyag határozza meg. A gumiban ébredő feszültség gyakorlatilag elhanyagolható a szálal anyagban ébredő feszültséghez képest az erősítőszel tönkremenetele esetén is, ugyanis a gumi szakadási nyúlása néhány százszorosa az erősítőanyag szakadási deformációjánál. A rendszer tervezésénél úgy kell eljárni, hogy az erősítőanyag száliránya a rendszerre ható erők eredőjével egy irányba mutasson, azaz egyszerű húzás esetében a húzás irányába, mert ellenkező esetben az erősítő anyag igyekszik beállni a hatóerő eredőjének irányába, ami a gumielemelek túlzott deformációjával, s így tönkremenetelével járhat. Egyirányú erőhatásnál ez a kívánalom teljesül (pl ékszíjak, terheletlen hevederek, stb), de eltérő erőhatások esetében vektoriális számításokra van szükség. Ennek lényege, hogy az erőket két egymásra merőleges vektor komponensre bontjuk. Az erősítőszálak elhelyezkedésének iránya kétféle lehet: radiális konstrukció, amikor a fonalakat a két merőleges vektorkomponens irányában építjük be, és a diagonális, vagy átlós konstrukció, amikor az erővektor eredőjének irányában tervezzük.

Az elsőre példa a radiál abroncs, vagy a tűzoltó tömlő, a másodikra pedig a műszaki gumitömlő, vagy a légrugó. Ha működés közben az erőhatások nagysága, vagy iránya változik, vagy új erőhatások lépnek fel (pl centrifugális erő, vagy súrlódás), az erőkomponensek nagysága is változik, ami megnehezíti az erősítőszálak megfelelő irányban történő beépítését, hiszen az működés közben változik. Ezekben az esetekben arra kell törekedni, hogy a változó hatások az erősítő szálak minimális elmozdulását eredményezzék.



1. ábra. Szálal anyag szakítási diagrammja: a–b szakasz: Hooke–tartomány, b–c–d szakasz folyási tartomány, e–szakadás, T a szakadási munka, $tg\varphi$ a Young modulus¹

¹ Gumiipari Kézikönyv, TAURUS–OMIKK, Budapest, 1988, 255. oldal.

Nyomás esetén az erősítőszálak igyekeznek kitérni a nyomóerő elől, ezért a szálakat úgy kell beépíteni, hogy nyomó igénybevétel csak a szálakra merőleges irányban hasson. Ekkor az erősítőbetét húzás alá kerül, és így növeli a rendszer nyomó modulusát. Ez a helyzet a szálbetétes tömítő lemezek esetében. Dinamikus igénybevételnél, ha a szál erősítés nyomóerő irányába kerül, az gyorsan kiágyzódik, így a termék tönkremegy. Hajlításkor elkerülhetetlen, hogy az erősítőszál ne kerüljön szálirányú nyomás alá, ilyenkor arra kell törekedni, hogy ez az erőkomponens minimális legyen.

Nyírásról beszélünk akkor, ha két szomszédos réteg egymáshoz képest párhuzamos síkban elmozdul. A betéteket a nyíróerőkkel párhuzamosan kell elhelyezni, hogy az erőhatások a gumielemezekre összpontosuljanak, hiszen így ébred a rendszerben a legkisebb feszültség. Amennyiben a betétek a nyíróerőre merőlegesen helyezkednek el, a rendszer gyorsan tönkremegy.

A **hajlítás** összetett deformáció. A hajlításkor a test egyenes szálai íves alakot vesznek fel, és az ív külső részén – mivel a lineáris méretei nőnek, nyújtás lép fel, míg a belső íven ahol a méretek csökkennek, nyomó erővel kell számolni. A különböző egymással párhuzamos felületek között a különböző elmozdulások miatt nyírás lép fel. A test belsejében van egy réteg, ahol a lineáris méret nem változik, itt feszültségek sem lépnek fel, ez az u.n. semleges réteg, vagy semleges szál. A fellépő feszültségek és deformációkra a mechanikából ismert összefüggések alapján pontosan nem számolhatók, mert azok csak kis deformációkra érvényesek. Ha a hajlítás középpontjától a semleges szál R távolságra van, a semleges száltól r távolságra lévő rétegben a deformáció $-\varepsilon$ a következőképpen számolható:

$\varepsilon = r/R$, a keletkezett feszültség nagysága pedig a Hooke törvény alapján:

$\sigma = \varepsilon E$, ahol E az u.n. Young modulus.

A **semleges szál** ott helyezkedik el, ahol a húzó és nyomóerők eredője nulla.

Erősítő szálakat tartalmazó rendszerben a húzó és nyomó modulusok értéke eltérő, ezért hajlításkor a semleges szál nem a test geometriai középpontjában van, hanem az ív külső szélé felé tolódik el, ezért a keresztmetszet nagyobb része nyomó igénybevétel alatt van. A hajlító igénybevételre történő tervezésnél a betétes gumitermékek esetében arra kell törekedni, hogy a vastagság minél kisebb legyen, felhasználásánál pedig, hogy a termék vastagsága és görbületi sugara megfelelően össze legyen hangolva. Ha a test már görbítés előtt feszültség alatt volt, a hajlításkor fellépő többlet feszültségek a meglévő feszültségekhez adódnak. Az a legjobb megoldás, ha az erősítőbetét a semleges szálban helyezkedik el, mert ekkor a hajlítás által okozott többlet igénybevételtől mentesül. Egybetétes rendszerekben ez a feltétel könnyen teljesíthető, több betét alkalmazása esetén azonban a hajlítás okozta feszültségkülönbségeket a tervezésnél figyelembe kell venni.

A hőmérséklet hatása mind a gumi, mind az erősítőanyag fizikai tulajdonságaiban jelentkezik. A rendszer alkalmazásához meg kell adni azokat a hőmérséklet határokat, amelyen belül a rendszer használható. A hőmérséklet növelésével általában csökken az alkotó részek szilárdsága, gyengül az erősítőanyag és a gumi közti kötés, dinamikus igénybevételnél hamarabb jelentkeznek a fáradási jelenségek. A gumi üvegesedési hőmérséklete alatt megszűnik a rugalmasság, tehát ez alatt a rendszer nem viselkedik gumiként. A rendszer hőmérsékletét a környezet/közeg hőmérséklete, valamint az igénybevétel által okozott hőfejlődés határozza meg. A hőfejlődés és a környezetnek való hőátadás hatására a test hőmérséklete egyensúlyi értékre áll be, ez az üzemi hőmérséklet.

A dinamikus igénybevétel mindig nagyobb károsítást okoz a szerkezetben, mint a statikus, még kis deformációk esetén is, mivel a gumirendszer szerkezete miatt yz egyensúlyi helyzetből való kitérítés, illetve az egyensúlyi helyzet újbóli eléréséhez nincs elegendő idő, s a deformációt előidéző, majd megszüntető energia hővé alakul, vagyis a rendszert a belső hőfejlődés útján fűti és öregíti. Dinamikus igénybevételek esetén tehát a tervezésnél nagyobb biztonságot kell tervezni. A használhatóság ideje – az élettartam – függ a felhasznált anyagok fáradékonyságától, az alkalmazott konstrukciótól, az igénybevételek fajtájától és irányától, nagyságától, és frekvenciájától. Rövid idejű, de nem periodikus hatások (pl ütés, szúrás, stb.) esetén előfordul, hogy a deformáció kicsi, de az anyag időfüggő mechanikai tulajdonságai miatt a nem tudja követni a hirtelen változást, így sokkal nagyobb feszültségek ébrednek benne, mint amit a deformáció alapján számolni lehetne, és az anyag tönkremegy (ld. abrancsok oldalfal sérülései, vagy a kő okozta csillagtörés).

Az erősített rendszerek **fáradékonyságát** u.n. fárasztási vizsgálatokkal határozzák meg. Ezeknél a vizsgálatoknál igyekeznek modellezni azokat az igénybevételeket, amelyek a valós használatban érhetik a termékeket, de szabályozott körülmények között, és számítástechnikailag jól kezelhető elrendezéseket alkalmazva. A fárasztási vizsgálatok hosszú időt vesznek igénybe, és eredményeik sok véletlenszerű körülménytől is függ, tehát nagyon szórnak. Ezért a vizsgálatokat célszerű minél több azonos anyagból készített próbatesten elvégezni. A fárasztásnál ébredő maximális feszültséget a tönkremenetelhez szükséges deformációs ciklusok számának függvényében ábrázolva kapják az u.n. Wöhler görbét. A görbe a ciklusszám növekedtével csökken és egy bizonyos határ után párhuzamossá válik a ciklusszám tengellyel. Ez alatt a feszültségérték alatt az anyag tetszőlegesen sokszor deformálható anélkül, hogy tönkremenne. Ezért ezt a határértéket kifáradási határfeszültségnek nevezzük. A görbe abszcisszával párhuzamossá válásához tartozó ciklusszám az erősítő anyagok minőségétől függ, értéke az acélkordoknál 10^7 .

A gyakorlatban egy erősített gumitermék **tönkremenetelének több oka** lehet. Az ok feltárása nem könnyű, hiszen a meghibásodás kezdetét nem mindig lehet észrevenni, és ha a dinamikus igénybevétel a tönkremenetel megkezdődése után folytatódik, másodlagos elváltozások alakulnak ki, amik a fő tönkremeneteli okot elfedik. Ha az elsődleges hibát megtaláljuk, akkor ennek okát is meg lehet állapítani, ami eredhet az anyagból, az alkalmazott technológiából, a gyártási paramétereiből, vagy az erősítő rendszer konstrukciójából.

A gyakorlatban a következő meghibásodásokkal találkozhatunk leggyakrabban: a **szálerősítés kifáradása, szakadása, a vulkanizált gumi fáradása, kopása, szakadása, és a szálerősítés és a vulkanizált gumi közti határfelület elszakadása** fáradás miatt. A leggyakrabban használt gyártmányok esetében a következő igénybevételek jellemzőek: A szállítóhevederek esetében a heveder terhelt oldalán a szabadonfutó dobtól a hajtó dobig a húzóerő fokozatosan nő, az alsó oldalon a húzó igénybevétel kisebb, hiszen itt a húzóerő szerepe csak a gumilemez visszahúzása, míg a terhelt oldalon a ráhelyezett terhet, a szállítandó anyagot is mozgatni kell. A húzóerő itt is növekszik, de itt a hajtódobtól a szabadon futó dob irányában. Amíg a szállító és visszatérő részeken a heveder csaknem sík, a doboknál a dob sugarának megfelelő hajlítás éri, és a hajlítás okozta többletfeszültség hozzáadódik a lineáris mozgást előidéző erők okozta feszültséghez. Itt a betétekben eltérő nagyságú feszültségek ébrednek.

Hajtószíjak és ékszíjak esetében a húzóerő a szíj hossza mentén mindkét oldalon állandó, nagysága az erőátviteli ágba az átvitt teljesítménytől függ, a visszatérő ágba pedig a feszítés mértékétől. Ezekhez adódnak a hajtó és hajtott tárcsáknál a hajlítás okozta többletfeszültségek.

A **gumiabroncs** igénybevételei igen komplikáltak, és kísérletekkel és mérésekkel lehet meghatározni. Egyrészt a belső levegőnyomás kifeszíti az abroncs falát, amely az erősítőbetétekben húzófeszültségeket indukál. Másrészt, amikor a gépkocsi áll, az abroncs falát egy ponton nyomó igénybevétel éri, amely az abroncsot deformálja, a talajjal érintkező oldalon nyomás alá kerül az abroncs, az előlatti oldalfalban hajlítás és nyomó igénybevétel lép fel. Amikor a gépkocsi halad, és a kerék forog, az abroncs állandóan változó része kerül a talajjal érintkezésbe, itt a mér leírt deformációk lépnek fel, majd ez a deformáció megszűnik. Ehhez a deformációhoz adódnak a centrifugális erőből, valamint a meghajtásból adódó, valamint a fékezés és a kanyarodás okozta deformációk. Az erősítőszálak kifáradása és tönkremenetele szempontjából a veszélyesebb igénybevétel az, amikor az erősítőbetét szálirányú nyomás alá kerül.

Erősítő szálak tulajdonságainak jellemzése

A **finomság** jellemzésére monofilamentek (egyetlen szál) esetén a keresztmetszet átmérőjét, vagy a lineáris sűrűséget használják, ez az egységnyi hosszú szál tömege, egysége a g/m. Sodrott szálak esetén a fonalak finomságát az u.n. finomsági számmal fejezik ki, egysége a Tex, az 1 km hosszú szabványos légtérben klimatizált fonal tömege grammban kifejezve. A finomsági számra alkalmazott egyéb egységek a millitex: mg/km, a decitex: dg/km, és a kilotex: kg/km.

A **sűrűséget a porozitás** jellemzésére használják: az erősítőanyag tényleges sűrűsége és a porózus szál látszólagos sűrűsége közötti különbség a tényleges tömeg százalékában adja a szál porozitását.

A **húzó igénybevétel** vizsgálatát u.n húzógépen vizsgálják, ahol szabályozott körülmények között addig húzzák a szálát, míg el nem szakad. Eközben mérik a húzóerőt és a szál nyúlását. Az egységnyi keresztmetszetre vonatkoztatott húzóerő az akció-reakció elv alapján megfelel az anyagban ébredő húzófeszültségnek, az anyag elszakadásához tartozó húzófeszültség az u.n. szakítószilárdság (egysége a N/mm^2). Textilszálak esetében a szilárdságot a szakítóerő és a finomsági szám hányadosaként szokás megadni, N/tex egységekben. A szövetek szakítóerejét 1cm szélességű szövetre vonatkoztatják. A húzó vizsgálat másik fontos eredménye a szakadáshoz tartozó deformáció, azaz a szakadási nyúlás, ami a szakadáskor mérhető hosszváltozás a kiindulás hossz százalékában kifejezve. A szakadáshoz szükséges energia befektetést, az u.n. szakadási munkát az feszültség-nyúlás diagramm alatti terület adja meg egységnyi keresztmetszetű anyagra nézve.

A **szál modulusza** az egységnyi rugalmas nyúlás által okozott feszültség, tulajdonképpen a nyújtás feszültség-deformáció diagrammjának iránytangense. Mértékegysége a N/mm , vagy N/tex . Fémeknél a szakítási diagramm egyenes a folyáspontig, itt a Hooke törvény jó közelítés. A műszálak részben kristályos anyagok, a szakítási diagrammjuk nem lineáris. Egy közel lineáris szakasz után az anyag modulusa csökken, kiserők hatására már nagy nyúlás történik, a rugalmas tulajdonságok mellett megjelenik a plasztikus folyás, majd a fonalmolekulák rendeződése után ismét nő a modulusz, majd az anyag elszakad. Makromolekulás szerves anyagoknál tehát a modulus függ a deformációtól, azt csak valamilyen deformációs értékre van értelme értelmezni, általában a kezdeti moduluszt használják, ami a húzási görbe kezdeti szakaszában számítható iránytangense. Használják még a 25, 45, vagy 90N húzóerőnél számítható moduluszt, vagy bizonyos esetekben a meghatározott deformációhoz tartozó moduluszt számolják.

Az **ütési szilárdságot** a Charpy féle kalapáccsal mérik. Ez egy kalapáccsalakú lengőelemmel ellátott inga. A vizsgálandó mintát az inga nyugalmi helyzetében elhelyezve vizsgálják azt a magasságot, amelyről az inga elengedve az anyagot elszakítja, vagy eltöri. Ebből a magasságból számítható a szakításhoz szükséges munka. Egysége adott méretű test esetén $N.cm$, szövetek vizsgálatánál ezt egységnyi hosszra vonatkoztatják, ekkor $N.cm/cm$ -ben fejezik ki.

Tépési szilárdság, vagy továbbszakítási szilárdság a szövetek (és a lemezek) jellemzésére alkalmazott paraméter. Általában szabványokban előírt módon vágják be a vizsgálandó anyagot, majd a bevágásra merőlegesen húzzák kampók segítségével, és mérik azt az erőt, ami a vágás továbbterjedéséhez szükséges.

Többszörös igénybevétel modellezésre használják a repesztő vizsgálatokat, ahol szabványos telttel nyomást gyakorolnak egy befogott anyagra, amíg az el nem szakad, és mérik a tönkremenetelhez szükséges erőt. Szótt, vagy hurkolt formában használt szálak esetében húzásnál a legerősebben hajlított helyeken indul meg a destrukció, ezért szokás vizsgálni, hogy a hurok mentén, vagy egy csomónál milyen szakítóerővel kell számolni. Ehhez használják a hurok illetve a csomószakítási méréseket. Az első esetben két szál hurokkal kapcsolnak össze, és a két szál végeit befogják a szakítógépre. A második esetben pedig egy csomót kötnek a szálra, és annak két végét húzzák. Általában a szál normál szakítószilárdságának százalékában adják meg a szilárdságot. Az adat a szál merevségére ad felvilágosítást, hiszen merevebb szálak esetében a hajlítás okozta szilárdságvesztés nagyobb.

A **cérnákat, kordszálakat** általában elemi szálak sodrásával (fonás) állítják elő. A szál stabilitása szempontjából fontos adat a **csavarással szembeni ellenállás**. Fémhuzalok esetén megadják a **maximális csavarhatóságot**, vagyis azt a fordulatszámot, ahol bekövetkezik a szál tönkremenetele.

Acélkord szálaknál, valamint impregnált textilkordok esetében fontos adat a **hajlítással szembeni ellenállás**. Mérésére a Taber-ingásműszert használják, amely egy 5 cm hosszú kord 15°-os meghajlításához szükséges hajlító nyomatékot mérik. Az eredményt Taber-merevségi egységben adják meg, egy egység 10 Ncm. A szál periodikus hajlítása a hajlítási igénybevételkor történő fáradási jellemzőket vizsgálja. Ez esetben azt a dinamikus ciklusszámot vizsgálják, ahol a szál tönkre megy.

Amennyiben a gumirendszerben a kordszálak egymást keresztezik és érintkeznek egymással, vagy ha egymáshoz érve egymás mellett elmozdulhatnak, a **szálak kopása** következtében történik a szilárdságvesztés. Ezért a **kopásállóság** lényeges tulajdonság az ilyen termékek tervezésénél. A kopásállóságon javítani lehet, ha a szálakat csúsztató anyagokkal vonják be. A kopásállóságot koptató gépeken vizsgálják, ahol kontrollált körülmények között koptatják az anyagot, és vizsgálják az anyagvesztésüket.

Nedvesség hatása: A szálas anyagok szerves láncmolekulákból épülnek fel, amelyekben hidrophil csoportok vannak (hidroxil, karboxil, amin, stb.), ezért kisebb nagyobb mértékben higroszkóp tulajdonságúak, azaz nedves légtérből vizet kötnek meg. A megkötött víz azonban megváltoztatja a szerkezetüket, ezzel a fizikai tulajdonságaikat is. A nedvesség felvevő képesség függ a szál porozitásától, a molekulák rendezettségétől és a hidrophil csoportok mennyiségétől. A kristályos, vagy orientált részek kompaktabbak, kevesebb vizet képesek megkötni, mint az amorf területek. A felvett víz mennyisége függ a környezet nedvességtartalmától. A nedvesség felvétele ill. leadása diffúziókontrollált folyamat, időbeli lefutása telítési görbe szerint történik, az egyensúly beállása hosszadalmas. Ezért a mért kvázi egyensúlyi nedvesség tartalom érték az anyag szárításakor mindig nagyobb, mint nedvesedéskor.

A szabvány a **nedvességtartalom** mérését a felvevő ág adszorpciós vonalán határozza meg. A nedvességtartalmat a felvett nedvesség mennyiségével jellemzik a nedves anyag százalékában kifejezve. A **nedvesség felvétel**, jellemzésekor viszont a mérés kiindulásakor használt száraz anyag tömegének százalékában adják meg a felvett víz tömegét. A nedvesség hatásának kiküszöbölésére a mechanikai vizsgálatokra vonatkozó szabványok előírják, hogy az anyagot milyen környezetben (hőmérséklet, páratartalom) mennyi idejű klimatizálás után kell vizsgálni. A nedvesség hatásának vizsgálatára a kísérleteket nedves, illetve száraz szálon is elvégzik. Erősen hidrofil rendszerek esetén (pl. cellulóz) a víz duzzasztja a polimert méretváltozást idézve elő, a szál átmérője nő, hossza viszont csökken. Amennyiben a zsugorodást megakadályozzuk, a rendszerben zsugorító erő lép fel. Minél nagyobb mértékű a molekulák orientáltsága, annál nagyobb a zsugorító erő. Feldolgozásnál, impregnálásnál a szálakat feszíteni szokták, hogy a zsugorodást megakadályozzák. Ehhez legalább akkora feszítőerőt kell alkalmazni, mint a zsugorító erő. Ha ennél nagyobb feszítőerőt alkalmazunk, nő a rendszer orientáltsági foka, ami a modulusz növekedését és a nyúlás csökkenését okozza.

Szilárdsági tulajdonságok időfüggése.

A makromolekuláris anyagokban a molekulák rendezetlen halmazban, úgynevezett statisztikus gombolyag formájában vannak jelen. Szálhúzáskor ezek a halmazok rendeződnek, a húzás, azaz a száltengely irányában orientált rendszerek képződnek. A szál állása közben – különösen, ha az meleg térben történik, a rendezettség csökken, a molekulák egy másik egyensúlyi állapothoz tartanak (amit igazából csak végtelen hosszú idő alatt érnek el.). Amikor a szálra erőhatás éri, a makromolekulák az erő nagyságának megfelelő mértékben és sebességgel igyekeznek orientálódni az erő irányába. Ez időfüggő folyamat, hiszen makromolekulákról van szó, amelyek mozgása, vagy átrendeződése csak bizonyos konfigurációk megvalósulása útján lehetséges. Így ha állandó értékre deformáljuk az anyagot, a molekulák kényszerű molekula elrendezést vesznek fel, és idővel beállnak az erő irányába. Ezért az anyagban a feszültség időben csökkenni fog. Ez a jelenség a feszültség relaxáció.

Másrészt, ha állandó erőhatás éri a rendszert, azaz állandó feszültséget idézünk elő, az anyag igyekszik új egyensúlyi állapotot felvenni, ami közben a molekulák orientálódnak, lassan elmozdulnak egymáshoz képest, új egyensúlyi helyzetet keresnek, azaz az anyag hossza időben nő. Ez a jelenség a kúszás, vagy hidegfolyás. Ennek megfelelően a szilárdsági vizsgálatok eredménye függ attól, hogy milyen sebességgel mérjük. Ezért a mérési körülményeket előíró szabványok megadják a szakítási vizsgálatokhoz szükséges időt is.

A vizsgálatoknál három komponenst lehet elkülöníteni: a **pillanatnyi, rugalmas nyúlást**, amely olyan kis erőhatásoknál és gyors erőhatásnál mérhető, amelyek a makromolekulák atomjainak egymáshoz viszonyított konfigurációjának megváltoztatásához elegendőek, de a makromolekulák nem mozdulnak el egymáshoz képest. Ez a folyamat reverzibilis, azaz a kényszerítő erő megszűnte után az atomok visszatérnek egyensúlyi helyzetükbe – az anyag visszanyeri kiindulási alakját.

A nyúlás–visszaalakulás ugyanazon görbe mentén történik a húzási diagrammon, a húzáskor befektetett energia teljes egészében megtérül a visszaalakuláskor, a folyamat nem jár hőfejlődéssel. A **késleltetett rugalmas nyúlás** esetén a gombolyagmolekulák kiegyenesednek, atomjaik egymáshoz képest elmozdulnak, új egyensúlyi helyzetet vesznek fel. Ezt a helyzetet ugyan csak igen hosszú idő után érnék el, azonban a szabvány által adott időben mért értékkel jellemezhető. A makromolekuláknak az új helyzetből az eredeti egyensúlyi helyzetbe való visszatérése csak hosszú időben elnyúló folyamattal valósul meg. A folyamat termodinamikailag irreverzibilis, a húzás görbén a húzást jellemző ág alatt helyezkedik el a visszaalakulást jellemző ág. A két görbe közötti terület azt az energiát jellemzi, amely hővé alakul a húzás és a visszaalakulás ciklusban. A jelenség neve a kényszer–elasztikus deformáció. A visszaalakulást a diffúziósebességet növelő hatásokkal (pl. melegítés) növelhetjük, ezért a kényszer elasztikus deformáció után az anyagot melegítve csökken a hossza.

Amennyiben a húzás olyan mértékű és sebességű alakváltozást idéz elő, hogy a kiegyenesedett szálmolekulák egymáshoz képest elmozdulnak, azok egymáshoz képest is új egyensúlyi helyzetet vesznek fel, így a húzóerő megszűnte után nem térnek vissza eredeti állapotukba. A folyamat mechanikailag is irreverzibilis, az erő megszűnte után az anyag **maradó nyúlást** szenved. A húzási diagramon a visszatérő ág nem éri el az origót, az ordinátát csak negatív irányú erő alkalmazásával lehet elérni, ami azt jelenti, hogy eredeti hosszát csak ellenerő hatására érheti el. A húzás, visszaalakulás diagrammon a két görbe közötti terület a mechanikailag vissza nem nyerhető, hővé alakult energiát jellemzi. A húzás–visszaalakulás folyamat eltérő lefutását **hiszterézisnek** nevezzük, jellemzésére a hővé alakult energia mennyiségét használják a húzáskor befektetett munka százalékában. A gyakorlatban a háromféle deformáció együtt jelenik meg, azonban az egyes komponensek nagyságát növekvő erőhatásokkal végzett ciklusokkal meg lehet határozni.

Az erősítő szálaknál csak a rugalmas területen dolgozhatunk, mert a maradó nyúlás a termék méretváltozását eredményezi. A textilszálak esetén a dinamikus tulajdonságok vizsgálata fontos, hiszen a legtöbb használatnál számolni kell ciklikus, periodikus igénybevétellel. A deformációs tulajdonságok időfüggése miatt a periodikus igénybevétel esetén a deformáció és az anyagban fellépő feszültség nincs szinkronban, köztük fáziseltolódás van. A fáziseltolódás szögének tangense ($\tan \delta$) jellemző az egy ciklus alatt hővé alakult energiára, ezért veszteségi faktornak is nevezik. A veszteségi faktor igen fontos adat, az anyag fáradási tulajdonságairól ad információt, hiszen minél nagyobb hő fejlődik az anyagban, annál inkább károsodhat használat közben.

A hőmérséklet szerepe.

A műszálak legtöbbje termoplasztikus polimerekből készül, ezeknél a lágyulási hőmérséklet fölötti alkalmazás nem lehetséges, mivel itt az anyag megolvad, s elveszti szilárdságát (polipropilén, poliamid, poliészter, stb.). A kristályosodó anyagokból készült szálak esetén előfordul, hogy a polimerben hőmérséklet hatására a kristályosság mértéke, vagy a kristály szerkezete változhat hőmérséklet emelése hatására még a lágyulási hőmérséklet alatt.

A poliamid esetében például kétféle kristályszerkezet lehetséges, ezek hőmérséklet emelése hatására egymásba alakulhatnak. A kristályosság foka és a krisztallitok mérete ugyancsak befolyásolja az anyag fizikai tulajdonságait. Ismeretes, hogy az anyagok részecskéi igyekeznek a lehető legrendezetlenebb állapotot felvenni (entrópia maximumra törekednek). Ezt a folyamatot gátolja az a körülmény, hogy szilárd állapotban a molekulák mozgékonyasága kicsi. A hőmérséklet emelésével a molekulák, illetve az azokat alkotó szegmensek egyre nagyobb valószínűséggel képesek elmozdulni, aminek következtében a rendezettség csökken. Ennek megfelelően a szálak előállításánál kialakult orientáció csökken, a molekulák kifeszített állapotukból egyre inkább a statisztikus gombolyag állapotába mennek át, szálirányú méretük csökken, keresztirányú méretük nő. Ez a szál makroszkópikus zsugorodásával jár együtt.

A zsugorodást feszítéssel lehet megakadályozni. Amennyiben a feszítőerő kisebb, mint a zsugorító erő, a szál zsugorodik, szilársága és modulusza csökken (a szálirányú orientáció csökken), keménységem plaszticitása nő. Ha a zsugorító erőnél nagyobb feszítőerőt alkalmaznak, a szál nyúlik, és a molekulák orientáltsági fokának növekedése miatt a szilárdsága, modulusa nő. Ha a feszítés a zsugorító erővel azonos mértékű, a szál mérete nem változik, a fizikai tulajdonságai is azonosak maradnak, de a későbbiekben a hőzsugorodási hajlam lecsökken, azaz nő a szál hőstabilitása.

A **kristályos és orientációs** tulajdonságokat **röntgendiffrakciós vizsgálatokkal** lehet követni. Egy teljesen orientálatlan minta esetében a röntgendiffrakciós kép gyűrűk alakjában jelenik meg, az orientált mintákról szóródó röntgen sugárzás újhold alakú ívek alakjában éri a detektáló eszközt, és az ív szöge az orientációmértékétől függ. A **kristályossági fokot** és a krisztallitok méretét ugyancsak röntgen vizsgálatok alapján lehet számítani: a detektáló lemezen az amorf rész egy széles diffúz gyűrűt jelöl ki, míg a kristályos részokról keskeny gyűrűk formájában szóródik. A görbék alatti terület arányos a kétféle anyagtípus tömegével, így a területek aránya megadja a kristályossági fokot. A krisztallitok átlagos méretét a kristályos részek kiterjedéséből lehet számítani: végtelen tökéletes kristályok esetén a diffrakciós csúcs kiterjedése nulla. Minél apróbbak a krisztallitok, a diffrakciós csúcsok annál keskenyebbek. A csúcsok szélességéből a krisztallitok átlagos mérete számítható.

A hőmérséklet hatása különösen hosszú ideig tartó terhelés esetén jelentős. A gyakorlatban a műszaki gumicikkek és a gumiabroncsok tartós terhelésnek és dinamikus, periodikus deformációs hatásoknak vannak kitéve. Ennek eredményeképpen az anyag melegedhet, és a melegedés hatására az erősítőszálakban szerkezeti változások léphetnek fel. Gondoljunk pl. az ékszíjakra, a gumiabroncsokra, vagy a szállítóhevederekre. Minden hajlítási helyzetben deformálódnak, majd kiegyenesednek, eközben a hiszterézis miatt hő fejlődik, ami felmelegíti a terméket. Amennyiben a gumitermék tervezése nem megfelelő anyagokból és nem a megfelelő konstrukcióval történt, a melegedés olyan mértékű lehet, ami az erősítő betétek szilárdságvesztéséhez vezethet.

A kemikáliák hatása:

Acélkordok esetén a kemikáliák korróziót idéznek elő, ami az anyag szilárdságának csökkenéséhez vezet. Textilszálak esetében elsősorban a bomlásra hajlamos csoportokat tartalmazó anyagok vannak kémiai károsodásnak kitéve.

Az észter kötések és az amid kötések víz hatására hidrolizálhatnak, vagy aminoízist szenvedhetnek. Ezért a poliészterek és a poliamidok esetében fontos, hogy a vulkanizálás ideje alatt, amikor a hőmérsékelt magas, milyen anyagok szabadulhatnak fel a gumiból. A gumikeverékben szereplő kemikáliákból ugyanis víz, különböző aminok szabadulhatnak fel.

A gumiiparban használt szilárdsághordozók

Az erősített gumirendszerekben alkalmazható szilárdsághordozóktól a következő tulajdonságokat várjuk el:

- *nagy fajlagos szilárdság*, hogy minél kevesebb betéttel lehessen egy adott konstrukciót megvalósítani,
- *nagy modulusz*, hogy nagy terhelés esetén is kicsi legyen az alakváltozás,
- *méretállandóság*, hogy gyártás és üzemelés közben ne lépjen fel maradandó alakváltozás,
- *nagy dinamikus fáradástűrés*, hogy a gyártmány élettartama megfelelő hosszú legyen,
- *jó hőállóság*, hogy a vulkanizálás és az üzemeltetés közben a fizikai tulajdonságok ne romoljanak,
- *kis sűrűség*, hogy kis energia fordítódjon a szerkezet mozgásba hozásához,
- *jó tapadás a guméhoz*, hogy a gumival együtt tudjon működni,
- *ellenállás a kémiai és biológiai hatásokkal szemben*,
- *feldolgozásuk és felhasználásuk ne szennyezze a környezetet*,
- *alacsony ár*.

A gyakorlatban ezeknek a követelményeknek együtt egyik anyag sem felel meg maradéktalanul. Ezért egy bizonyos célra való anyag megválasztásánál arra a követelményre összpontosítanak, amely az adott cél kívánalmait a leginkább kielégítik. Az anyagválasztásnál döntő szempont az ár, a szilárdság, és a guméhoz tapadás.

A legnagyobb tömegben használt anyagok a következők: acélkord, poliészter, poliamid, cellulóz, viszkóz, aramid, szénszál, üvegszál.

Az acél és az üvegszál kivételével a szálanyagok mikorfilament rendszerek, ahol a szálátmérő 10–30 μm . Az acél, és az üveg filamentek vastagsága ennél egy nagyságrenddel nagyobb.

A szénszálak mérete és szerkezete hasonló a poliakrilonitril szálakéhoz, hiszen ezekből állítják elő pirolízissel. A szénszálat, az aramidot és az üvegszálat csak speciális célokra használják, míg a többi szálat nagy mennyiségben használják gumiból készült tömegtermékekben.

A textilszálakból és a szénszálakból készült cérnákban a monofilamentek száma több ezer, míg az acélkordban maximum 60, vagy a vastag kordokban esetleg eléri a 100-at. A cellulóz alapú szálak használata ma már csak kisebb jelentőségű termékekben jellemző, egyrészt a viszkózszelyem előállításának környezetszennyező hatása miatt, másrészt a pamut ára és tulajdonságai miatt, de azokban az országokban, ahol a pamut könnyebben hozzáférhető, még ma is előszeretettel alkalmazzák (Kína, India).

A következő részben tekintsük át a jelenleg leggyakrabban alkalmazott erősítőszálakat!

Poliamid

A poliamid a személyabroncs gyártás egyik leginkább használt szilárdsághordozója. Molekulatömege 1000–20000 között van, amino-karbonsavból vagy diamín és dikarbonsav vegyületekből állítják elő. A poliamid 6 ϵ -amino-kapronsavból, a poliamid 66 pedig hexán-diaminból és adipinsavból (bután dikarbonsav) készül. A jelölés tehát az aminokarbonsavból készült poliamid esetén a szénhidrogén rész szénatomszáma, a diamín-dikarbonsav rendszernél pedig az első szám a dikarbonsav, a második a diamín vegyület szénatom számára utal.

A szálát ömledékből húzzák kb 300°C-on, majd lehűtés után a szilárd szálát 3–5-szörösére nyújtják. A poliamid 66-ot 1935-ben Carothers fedezte fel 1935-ben, lágyuláspontja 235°C, olvadáspontja 250°C. Nedvesség felvétele 4–4,5% kondicionált állapotban. Kereskedelmi forgalomba nylon néven került. A PA-6-ot 1937–38-ban a Farbenindustrie A.G. dolgozta ki 1937–38-ban, és Perlon néven vált ismerté. Nedvességfelvétele kondicionált állapotban 3,5–5%, lágyuláspontja 170–180°C, olvadáspontja 225°C. Hőzsugorodása nagyobb, mint a PA6-é.

A poliamidok időjárás állósága jó, biológiai kártevők nem támadják meg. Nagy a kopással és a fásztással szembeni ellenállásuk, érzékenyek az ultraibolya fényre. Igen jó a hajtogatással szembeni ellenállásuk. Régebben nagyméretű teherabroncsokban használták, azonban az acélradiál abroncsok bevezetése óta ilyen irányú felhasználásuk elhanyagolhatóvá vált. A poliamidok hátránya a többi szálhoz képest, hogy kisebb a modulusuk, és terhelés alatt hidegfolyást mutat, aminek következtében hosszabb terhelés alatti állás után maradandó alakváltozást szenved. Hő hatására zsugorodnak, a zsugorító erő kb. 1,8–2 cN/tex.

Meleg levegő hatására a poliamid molekulák hőbomlása megindul, ami a szilárdság csökkenéséhez vezet. Ennek a folyamatnak a lassítására hőstabilizátorokat kevernek az anyagba. A zsugorodás miatt a poliamidokat és a belőlük készült szöveteket hőrögzítik, azaz a lágyuláspont közelében nyújtják, majd nyújtott állapotban lehűtik. Az így létrehozott orientáció növeli a Young modulust és a szilárdságot, csökkenti a hidegfolyási hajlamot, de növeli a hőzsugorodást. A hőrögzítést általában két lépcsőben végzik. Az első lépcsőt az impregnálással egy folyamatban végzik, a második lépcsőben kisebb a nyújtás, mint az első zónában. A szál zsugorodása és szilárdságvesztése a magas hőmérsékleten végzett vulkanizálásnál is fellép, ha a feszítés kisebb, mint a zsugorítóerő. Ezért a vulkanizálás utáni hűtést feszültség alatt végzik a formában, vagy a formán kívül.

Az Aramid

Neve az ARomás poliAMID-ból ered, és arra utal, hogy összetevői aromás molekulákat tartalmaznak. A molekulaláncba épített aromás gyűrű hatására magas az anyag bomlási hőmérséklete és kicsi az oldhatósága. Az aromás gyűrűk kapcsolódása a gumiiparban használt aramidok esetén para típusú.

A para kapcsolódás azt jelenti, hogy a benzolgyűrű két ellentétes oldalán kapcsolódnak egymáshoz a szegmensek, ami egyenes molekulaszervezetet és így nagyfokú orientálhatóságot eredményez. Bár a molekulák polimerizációs foka nem túl nagy (100 körül), kísérleti szálaknál igen nagy szilárdságot tudtak elérni (300cN/tex). A nagyüzemi szálak szilárdsága ennél kisebb, 190cN/tex körüli. A szálakat az amerikai DuPont cég szabadalmaztatta, és Kevlar márkanéven hozták forgalomba.

A polimer kiindulási anyagai a tereftálsav és a para fenilén-diamin. A polimer nem olvad, ezért gélből húzzák, majd koagulálják. Ma több cég foglalkozik aramid előállításával Japánban és Európában (Akzo, Monsanto, Teijin, Toray).

Az aramid igen jó szilárdsághordozó tulajdonságokkal rendelkezik: extrém nagy specifikus szilárdság (azonos az acéllal) és modulusz, kis nyúlás és kis fajlagos tömeg. Nagy a hőállósága, és nem gyúlékony, 500°C felett kezd bomlani. A nagy szilárdság és modulusz hidegen sem csökken, azonban a hajlítási merevsége nagy ezért hajtogatásnál, hurkolásnál, sodrásnál, fonásnál a szál szilárdságvesztése nagy. Érdekes módon a mechanikai tulajdonságai az acélra emlékeztetnek, ezért elsősorban húzási igénybevételre ajánlott a használatuk (pl ékszív, tömlő, heveder). Nagy fajlagos szilárdsága miatt 1 kg aramid erősítő betétekben 4–5kg acél, képes helyettesíteni.

Az aramid szálakat 225°C-on 10cN/tex feszítéssel hőfixálni szokták, bár abból a szempontból nem tekinthető termoplasztikusnak, hogy nem olvasztható, mert előbb elbomlik, mint ahogy megolvadna. A hőfixálás célja elsősorban a vízfelvétel csökkentése, a hőkezelés a szál nedvességtartalmát a felére (4%–2%) csökkenti, és a modulusz hőfokfüggése is csökken.

A poliészter szálak

Dikarbonsavak diolokkal alkotott észter vegyületei. Leggyakrabban a polietilén tereftalátot használják, ami tereftálsav és etilén-glikol polikondenzációs reakciójából születik. Az anyag termoplasztikus, azaz az olvadáspont fölött történő szálhúzással készítik a szilárdsághordozót.

A lágyuláspontja 220–240°C, olvadáspontja 250°C, nedvességfelvétele kondicionált állapotban 0,4%. A poliamidokkal szemben jól ellenáll az oxidáló és redukáló szereknek, mikroorganizmusoknak, valamint az UV sugárzásnak, viszont hajlamos a hidrolízisre, és az aminolízisre, ezért gumiba ágyazásnál gondoskodni kell a keverék vízmentességéről, és hogy a kemikáliák bomlásakor ne képződjenek aminok.

Különösen poláros lágyítók (pl. ftalátok) erősen duzzasztják, ezért a keverékben ilyen típusú anyagok nem lehetnek. Tulajdonságait hőöngzítéssel szokták javítani, a kezelés hőmérséklete magasabb, mint a PA esetében, a feszítés mértéke azonban kisebb. A nyújtás mértékével a szilárdság és a modulusz nő, a fáradékonyság viszont romlik. Magasabb hőmérséklet alkalmazásával a fárasztási tulajdonságok kevésbé romlanak, de a szilárdság romlik.

Az üvegszál

Az 1960-as években jelent meg gumiipari szilárdság hordozóként szíjakban és hevederekben, majd később radiál abroncsok övbetétjében is kísérleteztek vele. Nagy szilárdságú és nagy moduluszú szál, és előállítás is egyszerű és olcsó. Gumiipari használhatóságát azonban egy sor műszaki probléma nehezíti. Kicsi a hajlátással szembeni ellenállása, ezért fonásnál, cérnakészítésnél nagy az anyag szilárdságvesztése.

Dinamikus igénybevételekkel szemben tanúsított ellenállósága is kicsi, és a gyenge gumihoz való tapadás miatt különösen dinamikus igénybevételnél az üvegszállal erősített gumitermék gyorsan tönkremegy.

Gumihoz való jobb tapadásukat speciális itatási eljárásokkal javítják, amelynek során az anyag felületére szilánok segítségével alkil láncokat kötnek, amelyek már impregnálhatók a szokásos gumiipari tapadástnövelő szerekkel. Az üvegszálakat előszeretettel alkalmazzák termoszet polimerekkel társítva, így igen nagy szilárdságú és rugalmasságú anyagokat tudnak előállítani. A műszaki tömlők gyártásánál epoxi gyantába vagy poliészter gyantába ágyazott üvegszálakat alkalmaznak a külső túlnyomással szembeni védelem biztosítására használt kis menetemelkedésű spirális erősítőbetétekben.

Az acélszál

Sokáig csak néhány területen alkalmazott szilárdság hordozó volt a gumiiparban. (gumiabroncs peremkarika, szimmering gyűrűk, stb.). A Michelin 1938-ban próbálkozott acélkord betétel diagonál abroncs előállításával, azonban a diagonál szerkezet által megkívánt páros számú betét miatt az abroncs nehéz volt, és nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket.

Az acélkordok tömeges felhasználását az acélbetétes radiál abroncsok bevezetése jelentette, ami megtermékenyítőként hatott az ipar többi területeire is. Ráadásul a tengeri olajkitermelés szükségessé tette a nagynyomású és nagy átmérőjű hajlékony olajkitermelő tömlők gyártását, ami acélbetétek alkalmazása nélkül igen nehézkes lett volna.

Ma ezen iparágakon kívül a hevedergyártás használja a legtöbb acél szilárdsághordozót. Az acél nagy szilárdsága és kis nyúlása teszi az acélkordot a gumiabroncsgyártás kedvelt alapanyagává.

Legnagyobb szakítószilárdsággal rendelkező acélok a magas szénttartalmú anyagok, ezek szilárdsága felülmúlja az 1700MPa-t. Gyártásához 5–6mm átmérőjű drótból indulnak ki, amit először 800°C-on történő hevítéssel, majd ólomfürdőben 500°C-ra való visszahűtéssel kilágyítanak, majd húzógépen több lépcsőben nyújtanak. Az utolsó húzás előtt a szál felületét elektrolitikusan sárgarész védőréteggel vonják be, amelynek összetétele 70% réz és 30% cink. Ezután a szálakat 0,15–0,40 mm átmérőre húzzák. Az utolsó húzást emulzióban végzik wolfram karbid, vagy gyémánt húzókövek alkalmazásával.

Egyes speciális alkalmazásokhoz (pl. nagynyomású tömlők) sodronyokat horgannyal vonnak be, ritkán használnak bronz, vagy vörösréz bevonatot is.

Az acélhuzalok szilárdsága és modulusza nagy, azonban a nagy sűrűsége miatt a fajlagos szilárdság az összes anyag közül a legkisebb (ugyanakkora szilárdsághoz sokkal nagyobb tömegű anyag felhasználása szükséges). Kis sugáron való hajlításakor dinamikus igénybevételnél gyorsan tönkremegy. Nagy görbületi sugáron való hajlításakor azonban a hajtogatási ellenállása nem romlik, sőt egyes esetekben még javul is. Nagy hátránya a kis korrózióállóság: a gumi sérülése esetén az acélszálakat érő víz, sólé, oxigén gyorsan tönkreteszi a szálát.

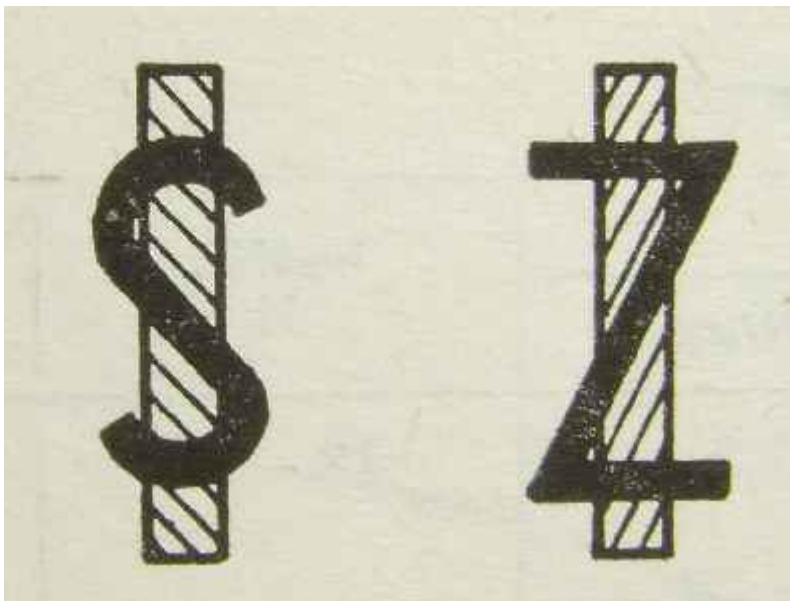
A szilárdsághordozó fonalak és cérnák szerkezete:

A fonalak elemi szálakból, filamentekből állnak. A biológiai eredetű szálak (pamut, gyapjú) véges hosszúságú elemi szálakból állnak, míg a műselymek húzásakor végtelen szálakat állítanak elő. Ez utóbbiakat vágott szál formájában dolgozzák fel tovább, azokra az alkalmazásokra, ahol a természetes szálak fizikai megjelenését akarják utánozni (textilipar).

Az elemi szálak sordásával – fonásával – állítják elő az alapfonalat, vagy filamentfonalat. Amennyiben az elemi szál végtelen, a filamentfonal szakításához szükséges erő az egyes elemi filamentek szakítóerejének összege. Véges szálak esetében a szakítóerőt, így a szilárdságot a szálak közötti adhézió, és a surlódás határozza meg. Ha ez kicsi, a fonalat felépítő elemi szálak elcsúsznak egymáson, és az anyag hamar elszakad. Ezen a sodratszám növelésével lehet segíteni egy bizonyos határig.

A maximális szilárdságot eredményező sordatszámot **kritikus sodratnak** nevezik. Két, vagy több fonal összesodrása útján jön létre az egyszeres cérna, két vagy több egyszeres cérna összesodrásával pedig a többszörös cérna. A fonal szerkezeti jellemzői a **finomság**, a **sodratszám**, a **sodratirány** és a **sodrattevényező**. Végtelen filamentekből álló fonalaknál megadják a **filamentszámot** is – ez az alapfonalat képező filamentek száma.

A sodratszám 1m hosszú fonalon lévő csavarmenetek, sodratok száma. A sodratirány lehet jobbcsvar (S) és balcsavar (Z). A sodrattevényező a sodrat spirálvonalának dőlési szögére ad felvilágosítást.



2. ábra. Sodrátirányok jelölése cérnákban²

A cérnák jellemzésére a konstrukciót, a finomságot, az elő és végcérna sodratra, valamint a sodratok irányát és vastagságát, valamint a cérna sodrat dőlésszögét adják meg. A cérnakonstrukció a névleges finomsággal jellemzik, ami az alapfonal finomságának és az ágak számának szorzata (pl. 1100X2, 1840,X2X4–az első esetben 2 db 1100dtex finomságú fonal van összesodorva, a második esetben 2db 1840dtex finomságú fonal sodratából álló cérnából 4 ágat sodortak össze).

A cérna teljes jelölésében megadják a sodratok irányát is (pl: 1840dtex X Z450 x 2S 400 – 1840 decitex finomságú alapfonalból készítettek balsodratú 450 ágból álló cérnát, majd ebből 400 ágat jobb irányban összesodortak az adott cérna gyártásakor). A cérna tényleges finomsága a sodrás miatt eltér a névleges finomságtól a sodródás miatt. Értékét méréssel állapítják meg. A besodródás mértékét a a sodratszám mérésnél az ágak relatív meghosszabodásából, vagy rövidüléséből vagy a tényleges és névleges finomsági szám viszonyából állapítják meg. Nagysága megadja, hogy adott hosszúságú cérna előállításához mennyivel hosszab alapfonalra van szükség

A sodratszám egymagában nem képes megadni a teljes cérnakonstrukciót, mivel a spirálvonal emelkedése függ a spirál sugarától. A cérnageometria figyelembevétele a sodrattényezővel történik, amely a sodratszám és a lineáris sűrűség négyzetgyökének szorzata.

A kordcérnak kidolgozását az abroncsgyártás robbanásszerű fejlődése vonta maga után a 19.szdz. végén. A keresztkötéssel szőtt szövetekben az egymást keresztező szálak fáradással szembeni ellenállása nem volt kielégítő, mert a keresztben futó szálak súrolták, koptatták egymást. A kordszövetben viszont gyakorlatilag csak a láncirányú fonalaknak van szerepe, a vetülék csak ezek összetartására szolgál.

² Gumiiipari Kézikönyv, TAURUS-OMIKK, Budapest, 1988, 273.oldal.

Kezdetben csak abroncsgyártásra használták, aztán később rájöttek, hogy a alkalmazása előnyös minden olyan területen, ahol a 90° -os fonalszög nem megfelelő. Kezdetben többszörös cérnázású pamutkordokat alkalmaztak az abroncsgyártáshoz, majd a műszálak megjelenése óta egyszeres műszálcérnákat használnak.

Nagy húzó igénybevételekhez ékszj, és hevedergyártáshoz különleges nagyszilárdságú kordokat használnak. Ezek többszörös cérnák, és szilárdságuk az alkalmazás által igényelt követelményeknek felel meg. A műszál alapfonalat vagy sodrat nélkül, vagy védő sodrattal szállítják. A védő sodrat Z irányú 100 sodrat/m sodratszámú konstrukció, amelyet a fonóüzemek Z irányban tovább sodornak, majd két vagy három alapfonalat S irányban összecérnáznak.

A kordcérnák a tulajdonságai függenek a konstrukciótól, ezért minden szálal anyagnál az igénybevételnek megfelelő optimális konstruktóót alakítanak ki. Az optimális konstrukció megtalálása azonban mindig bonyolult folyamat, ugyanis a cérnázáskor egyes tulajdonságok romlanak, mások viszont javulnak.

A cérna szilárdsága mindig kisebb, mint a filamentek szilárdságának összege. Nyúlása nagyobb, a modulusza kisebb, mint az elemi szálé. Dinamikus tulajdonságai viszont javulnak cérnázáskor különösen összenyomás esetén. A cérnázás közbeni tulajdonságváltozás egyrészt a geometriai változásokból másrészt az anyag tulajdonságaiból adódik. Sodrott cérnáknál a húzáskor a külső sodratokban lévő filamentek kisebb deformációt szenvednek, mint a szál középpontjában lévők, így a bennük ébredő feszültségek is kisebbek lesznek. Másrészt a spirálban sodrott filamentek hajlítást szenvednek, és emiatt a szilárdságuk csökken. A filamentek minden sodrási fázisban további hajlítást szenvednek, s az ezekből eredő hatások összeadódnak. A fentiek miatt a sodrott cérna adott terhelés által előidézett nyúlása nő. Az anyagtulajdonságok sodrat során történő szilárdságvesztés függ a szál modulusától, minél nagyobb a szál modulusza, azaz minél merevebb a szál, annál nagyobb a sodrás okozta veszteség.

Szövetek tulajdonságai.

Egyes alkalmazásokra a szövetek alkalmazása még ma is előnyösebb, mint a kordcérnáé. Ilyenek a nyomás alatt működő tömítő lemezek, vagy a hevederek. A sokféle textilanyag lehetővé teszi ezek kombinációinak alkalmazását, és anizotróp terhelés esetén a terhelés irányfüggését.

A műszaki szövetet a következő adatokkal szokás jellemezni: a **beállítás** a 10cm szöveghosszra elő fonalak száma (mindkét irányban.) A **kitöltési tényező** a lánc és vetülékfonalak által elfedett terület százalékos aránya a szövet felületéhez viszonyítva. A szövet vastagságát nyomás alatt szokták mérni. Olyan mértékű nyomást kell alkalmazni a mikrométer csavarral, ami már tovább nem tudja vékonyítani a szövetet.

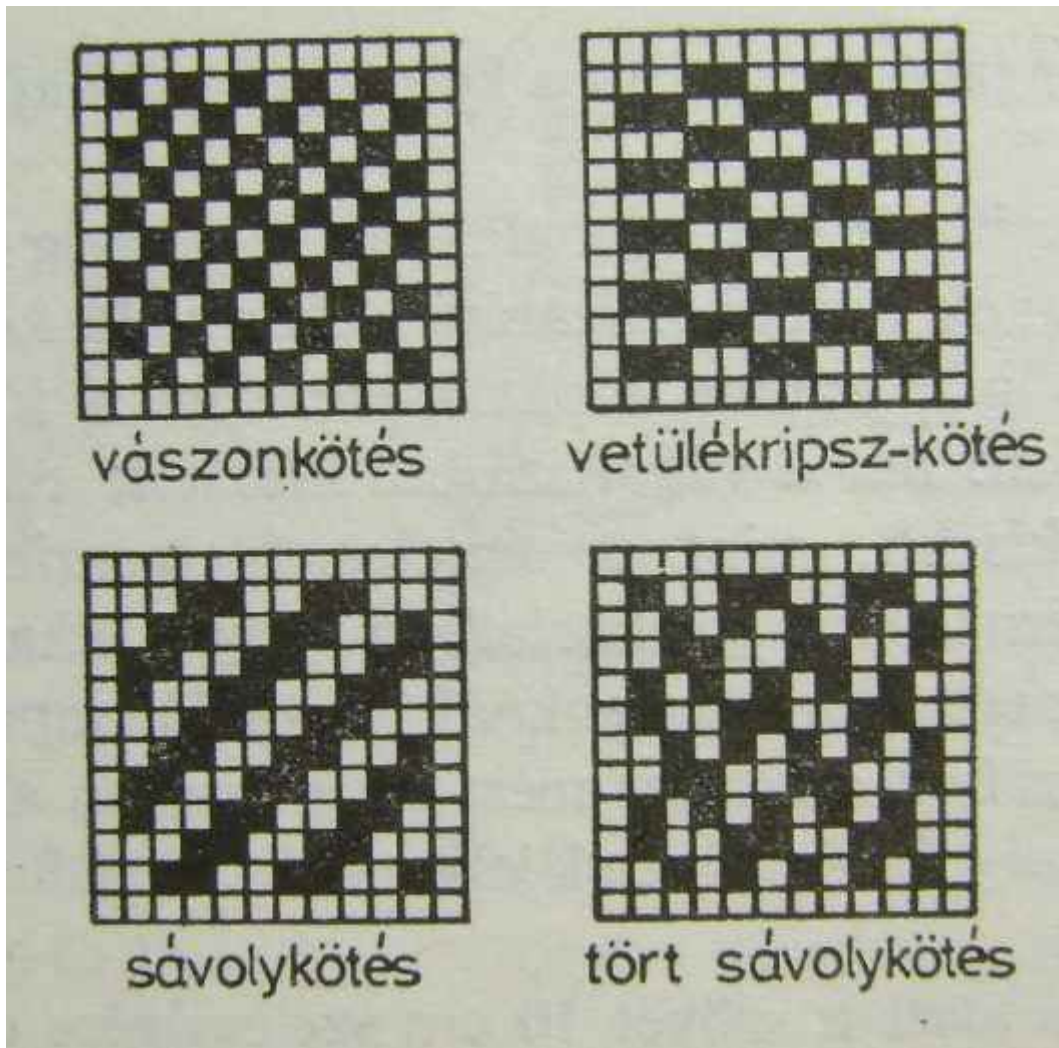
A **négyzetmétertömeg** az 1 m² felületű kondicionált szövet tömege g-ban kifejezve. A **bedolgozás mértékét** a tényleges és a névleges négyzetmétertömeg hányadosa adja meg. Ez jellemzi a szálak hullámosodása miatt felvett anyagöbületet. Külön a lánc vagy a vetülék bedolgozása is megadható. A kifejtett lánc vagy vetülékcérnát adott súllyal feszítik, és lemérik a kiegyenesedéskor bekövetkezett meghosszabbodást.

Szövetkonstrukciók.

Itt csak a műszaki szövetekkel foglalkozunk. A szövet egymásra merőleges lánc és vetülékfonalakkból áll, amelyek váltakozva egymás alatt, majd fölött keresztezik egymást. A kereszteződési rendszert kötésnek nevezik. A szövetkonstrukciók közül a gumiipar főleg a vászonkötésű ritkábban a sávolykötésű szöveteket használja.

Az **egyszerű**, vagy sima **vászonnál** minden lánc minden vetüléket keresztez. Ez a legnagyobb nyúlású szövet, ami a legerősebben van kötve. A szövet maximális szilárdságát a megvalósítható legnagyobb sűrűségű beállítás szabja meg. A beállítás és ezzel együtt a szilárdság is növelhető, ha egy kötésbe több láncot vagy vetüléket szőnek.

Ha a vászonkötésű anyagban több vetülék van, mint lánc, **láncripsz**, ha több lánc van, mint vetülék, **vetülékripsz** alakul ki. A ripszkötéssel a lánc, vagy a vetülék irányában növelhető a szilárdság. A hevederszövetek szilárdsági sorának kialakításánál sima és vetülék ripszkötést alkalmaznak pl a poliészter hevederszövet sorban.



3. ábra. Különböző szövetkonstrukciók³

Mivel a ripszszöveteknél a kereszteződések száma kisebb, mint a sima vászonkötésnél, csökken a bedolgozás mértéke, a nyúlás és a továbbszakítási szilárdság.

A **sávolykötésnél** a kötéspontok átlós irányba helyezkednek el, ami jellegzetes diagonális mintázatot ad a szövetnek. A mintázat lehet szabályos vagy tört a kötéspontok kialakulásától függően. A kötések eltolódása miatt a kereszteződések száma több, mint a ripszszövetekben, ami növeli a továbbszakítási szilárdságot. Ilyen szempontból főleg a tört sávolykötés előnyös.

³ Gumiipari Kézikönyv, TAURUS-OMIKK, Budapest, 1988., 278.old.

A gumiipar számos szövetet használ a különböző gyártmányokban. A konstrukciót és a szálfeleséget a gyártmányban betöltött szerep határozza meg. Érdemes megismerni a szövetek jellemzésére használt jelöléseket. Az anyagfeleség jelölésére az anyag nevének kezdőbetűjét használják: B–Baumwolle–pamut, R–Rayon (Viszkóz), P– poliamid, E–Poliészter, A–aramid, G–Glass – üveg, Pb–poliamid és pamut keveréke, Ep– poliészter és pamut keveréke. A szövetek jelölésében az anyagfeleség és a konstrukció is megjelenik.

Ha egy nagy betű áll a jelölésben, akkor a lánc és a vetülék anyaga azonos. Ha két nagy betű, akkor az első a lánc, a második a vetülék anyagára vonatkozik. Ha egy szám van a jelölésben, az a lánc minimális szilárdságát adja kN/M-ben, ha a két szám van, akkor a lánc és a vetülék minimális szilárdságát mutatja.

Nagy szilárdság igényű termékekben, mint a nagy szilárdságú hevederekben többszörös szövetet alkalmaznak egy betétben. A gyakorlatban két típus terjedt el: az egyik külön síkban elhelyezkedő egyenes lánc és vetülékrendszerből áll, amelyeket kötőfonalak kötnek össze. Kevlár esetén egy láncrendszerrel 2000 kN/m két láncrendszerrel 3150kN/m maximális szilárdság érhető el. A másik esetén két egyenes vetülékrendszert alkalmaznak, amelyeket keresztező lánCFonalak kötnek össze. Gyakran több textilfeleségből építik fel. Például a szilárdságot adó lánc poliamid, poliészter, vagy kevlár, a tapadást fokozó lánc pamut. Kevlár használatával 4000kN/m szilárdság érhető el.

Acélhuzalok és sodronyok

∴ Az acélszálak felhasználása huzal, **pászma**, vagy **sodrat** formájában történik. A pászma több egy síkban elhelyezkedő huzal, melyeket egy-egy rajtuk átszótt keresztszál köt össze. A sodrott termékek konstrukciója sokféle lehet.

Az **egyszerű sodronyok** 2–5 huzalból állnak, minden elemi huzal spirál vonalban helyezkedik el. Jelölésükhöz a huzalszámot és az átmérőt adják meg: pl: 5X0,20 azt jelenti, hogy a sodrony 5 db 0,2 mm átmérőjű huzal sodrata. Térkitöltésük különböző lehet a sodratszám függvényében. Az **egyrétegű huzalkoszorús sodrony** legalább hét huzalból áll, amelyek közül hat spirálvonalon körülfonja a közepén lévő magot, amely egyenes. Jelölése 7Xd, vagy 1+6Xd, Térkitöltés szempontjából ez a legjobb konstrukció. A magot több összesodort huzal is alkothatja pl: 3+6Xd, ami azt jelenti, hogy 3 szálból összesodort mag körül helyezkedik el az azt 6 spirálvonalon körülfonó ág.

Többrétegű huzalkoszorús sodronyon több huzalkoszorú van egymáson. Jelölése 1+6+12d, ami azt jelenti, hogy az egy szálból álló mag körül sodortak egy 6 szálból álló koszorút, majd erre egy 12 szálból álló második spirális szálréteget. Azonos szálatméretek esetén minden koszorúba az alatta lévő koszorúban lévő szálszámnál 6,28 –cal több szálat lehet elhelyezni.

Összetett sodronyok esetében az egyes ágakat nem egyedi huzalok, hanem már sodrott huzalkötegek alkotják. Ebbe a csoportba tartoznak a heveder és egyes abroncskordok. A szerkezet jelölésénél mindig belülről kifelé haladva kell felírni a huzalok számát és átmérőjét. Pl: $1X4+6X4X0,22+1X0,15$, azt jelenti, hogy a sodrony magja 1 db 4 mm vastag huzal, eköré van sodorva 6 db 4 db 0,22mm vastag szálból álló sodrat, majd az egész köré egy 0,15 mm átmérőjű huzalt sodortak, ez tartja össze az alatta lévő szerkezetet, hogy a kord elvágásakor a szerkezet ne ugorjon szét.

A **kompakt kordok** összesodort huzalkötegek. Tulajdonképpen olyan egyszerű sodronyok, amelyeknél a huzalok száma nagyobb, mint 5. A huzalok vonalban érintkeznek, és szorosan egymás mellett helyezkednek el. Térkitöltésük majdnem a huzalkoszorús kordéval azonos. A sodronyok esetében a textilkordokhoz hasonlóan beszélhetünk jobb vagy bal sodratirányról (S, vagy Z). A sodratot a sodrathosszal jellemzik, ami egy sodrat hossza mm-ben. Számítása úgy történik hogy az egy méterre eső sodratok számával (sodratszám) osztunk el 1000mm-t. Ha a szomszédos koszorúban lévő sodratok iránya azonos, **hosszsodratról**, ha ellentétes, **kereszt sodratról** beszélünk.

A szomszédos sodratok irányától függően a huzalok érintkezése lehet vonalszerű (hosszsodrat esetén) vagy pontszerű (kereszt sodrat esetén). Ennek alapján beszélünk pont, vonal, vagy vegyes érintkezésű sodronyokról. Azonos sodrathossz esetén a vonalérintkezés teljes, de ha eltérő, akkor a vonalérintkezés a sodrathosszak különbségétől függően részleges. Sodrásnál szilárdság csökkenés lép fel, azaz a sodrat szilárdsága kisebb, mint a szálak szilárdságának összege. Ez a sodrás közbeni hajlítás miatt következik be, és mivel az acélhuzal hajlító merevsége nagy, a szilárdság vesztes is nagy, ezért általában kis sodratszámokat alkalmaznak.

Gépjárműabroncsokban alkalmazott acélkordok:

A gépjárműabroncsokban alkalmazott kordok esetében fontos tulajdonságok a szilárdság, a hajlékonyság, a fásasztási ellenállás húzással, hajlítással és nyomással szemben, valamint a korrózióállóság.

A kord szilárdságának és keresztmetszetének hányadosa az ún. **fajlagos szilárdság**, amely azt adja meg, hogy egy adott felületre mekkora szilárdság építhető be. Ez annál nagyobb, minél nagyobb a kord kitöltési tényezője. Mikrofilamentes anyagoknál a kitöltési tényező nem nagyon függ a konstrukciótól, értéke 75–77%, makrofilamenteknél azonban erősen konstrukciófüggő, és 31–78% tartományban változhat.

Különösen csökkenti a kitöltési tényezőt a becsavaró huzal jelenléte. A nagyobb fajlagos szilárdság elérése céljából egyre tömörebb konstrukciók kialakítására törekedtek, ezért dolgozták ki az egy sodrattal– tehát egyszerűbben előállítható kompakt kordokat, amelyek kitöltési tényezője a legnagyobbak között van. A becsavaró huzal elhagyása is növeli a kitöltési tényezőt.

A sodrony szilárdsága növelhető az acél szilárdságának növelésével, ezért az acélminőség javítása mind az anyagösszetétel, mind a fizikai megmunkálás és a különböző utókezelések alkalmazásával az állandó fejlesztések tárgya. A huzalvastagság növelésére nincs mód, mivel az rontja a hajtogatási ellenállást, és növeli a hajlítási merevséget. E téren az egyszerű sodronyoknál adódott lehetőség némi változtatásra. A kordok konstrukciójának változtatása jelenthet még tartalékot, azonban a sodratszám változtatása sem kecsegtet túl sok eredménnyel, mivel a nagy sodratszám változtatás is csak kis szilárdságváltozást hoz, viszont jelentősen befolyásolja a kord hajlítási tulajdonságait, és fáradékonyságát.

A kord hajtogatásakor az egymás mellett lévő szálak nem mozognak együtt, ezért koptatják egymást. Ez a hatás kereszt sodratnál nagyobb, mint hossz sodratnál, mert itt a huzalok hosszabb vonalak mentén érintkeznek. Ez az oka annak, hogy az egyirányú sodratokkal rendelkező kordok, illetve a kompakt kordok előnyösebbek, mint a keresztkoszorús kordok. A huzalkopás megakadályozására alkalmazzák a nyitott sodratú kordokat, mert vulkanizálásakor, amikor nagy nyomás éri a még plasztikus rendszert, a nyersgumi be tud hatolni a kordszálak közé, és az abroncs működése közben a szálak közötti kivulkanizált gumi megakadályozza a szálak kopását. Az acél nagy problémája a korrózió. Ha az abroncs megsérül, víz, vagy elektrolit kerül a kordok közelébe, és megindul a korrózió. A huzalbevonatok közül csak a cink (horgany) nyújt korrózióvédelmet, ezért a konstrukció módosításával, tömörebb kordok előállításával próbálják elejét venni a korróziónak. A másik megoldás az üregek kitöltése az ágyazógumival, erre a nyitott sodratú kordok nyújtanak lehetőséget.

Egyéb acékkordalkalmazások:

Nagynyomású tömlők sodronyai 2–5mm átmérőjűek, a szakítóerő 5400–30000N tartományban van. Bevonatuk sárgaréz, vagy horgany, ritkábban vörösréz. Vékony acékkordokat fogazott és lapos ékszíjakban használnak, a filamentátmérők 0,04–0,15mm tartományba esnek. Bevonatuk sárgaréz vagy horgany. Jelentőségük a gumi ékszíjak jelentőségével együtt csökken, ebből a termékszegmensből a gumit egyre inkább kiszorítják a műszaki műanyagok.

A hevedersodronyok általában hát ágúak. Bevonatuk sárgaréz, vagy horgany. A gumiipar fém szitaszöveteket használ hőálló lemezek alaktartó anyagaként. A szitaszövet bronz, vagy acélszálból készül. Az acélszálat a jobb tapadás érdekében sárgaréz vagy horgany bevonattal látják el.

Olyan gyártóknál, akik elsősorban textilszálak gumírozására (felpréselésére) vannak berendezkedve, gyártanak olyan acékkord szöveteket, amelyekben a láncirány acékkord, a vetülék viszont tapadásfokozóval impregnált poliészter, vagy nagynyúlású acélszál. A hevederhez használt szövetben a láncsodronyok váltakozva S, illetve Z sodratúak, az abroncs esetében a láncok azonos sodratirányúak. A vetülék mindkét esetben poliészter.

Erősítőanyagok tapadása a gumihoz

Ahhoz, hogy az erősítőanyag és a gumi egy rendszerként viselkedjen, az szükséges, hogy a gumi jól tapadjon az erősítő anyaghoz, azzal együtt mozogjon, ne ágyazódjon ki. Amennyiben ez nem teljesül, a gumi elválk az erősítő anyagtól, betételválás történik működés közben, ami a funkció ellátását lehetetlenné teszi. Textil szálak esetében a gumi-erősítőanyag tapadása mechanikai, diffúziós, primer és szekunder kémiai kötések útján valósul meg.

A mechanikai kötések nagyságát a textília szerkezete határozza meg. A véges elemi szálakból készült cérnáknál és szöveteknél, ahol a tapadást az ágyazó gumiba bekötött elemi szálvégek biztosítják, a mechanikai kötés dominál. Ennek nagysága az elemi szál tartalom függvénye, azaz a szálvégek száma. Ez teszi lehetővé a pamutból, illetve a vágott szálakból készült textíliák tapadáskezelő anyaggal történő impregnálás nélküli alkalmazhatóságát textil-gumi rendszerekben. **Mechanikai kötést** eredményez a szövetek nyílásain átfolyt, az elemi szálak közé behatolt gumi, valamint acélkordoknál a becsavaróhuzal alá folyt keverék.

Diffúziós kötést létesítenek a textíliában és az ágyazó gumiban lévő aktív kémiai csoportok. Döntő szerepük a sima felületű végtelen elemi szálaknál van, ahol a mechanikai kötések gyengék. Ilyenek a végtelen szálú poliamid, poliészter, vagy az üvegszál. Kémiai kötések az ágyazó gumiban és az erősítőanyagban lévő aktív kötések hozhatnak létre. Akkor kell ilyen kötések létrehozni, ha a gumi-erősítőanyag között sem mechanikai úton sem diffúziós úton nem lehet kötések létesíteni. Ilyenek a végtelen szálú műselyem (viszkóz, Pa,Pé), valamint az üveg. Mivel ezeknél a szálaknál a kémiai kötések nagysága sem kielégítő, külön aktív csoportokat tartalmazó anyagokat visznek a szálak felületére vagy impregnálással (itatás), vagy kenéssel.

A másik lehetőség, hogy az ágyazó gumiba kevernek aktív csoportokat tartalmazó alkotórészeket. A különböző szálú anyag – ágyazó gumi kombinációkra a célnak megfelelő összetételű tapadásfokozó keverékeket dolgoztak ki, amelyekben jelen van az erősítő szálhoz kötődő anyag, amit a textil anyaga határoz meg, valamint az ágyazó gumival összevulkanizálható kaucsuk, ami az ágyazó gumi kaucsuk összetételétől függ. Ezek a kaucsukok összeférhető anyagok kell, hogy legyenek. A textilszálakat általában térhálósodó műgyantával kezelik, melyek aktív csoportjai kötnek a textilhez és a kaucsuk komponenshez. Üvegszálak esetén az üvegszál felületére szilánózással visznek alkil csoportokat, amelyek kötnek a térhálósodó műgyantához.

Direkt tapadási rendszerek: A legegyszerűbb módszer a textil–gumi tapadás fokozására az, ha a tapadást fokozó anyagokat az ágyazó keverékbe adagolják. A leggyakrabban alkalmazott tapadást fokozó rendszerek az ún. RF rendszerek, amiben rezorcin –formaldehid gyanta az aktív anyag. A szer hatékonyságát nagymértékben növeli, ha aktív szilícium dioxid vagy valamilyen szilikát van jelen (RFS rendszer). A gyanta mennyisége 2,5–3 rezorcin, 1,2–1,5 térfogatrész hexamitilén tetramin, vagy paraformaldehid 100 tömegrész kaucsukra, és 12–17 térfogatrész szilícium dioxid. A tapadás mértékét befolyásolja a kén –gyorsító rendszer, kisebb kéntartalomhoz kisebb tapadás tartozik, ha nem kén a térháló képző, az RFS rendszer hatástalan. A direkt tapadási rendszereket gyakran használják itatással kombinálva. A direkt módszerrel jó tapadás érhető el poliamidnál, de viszkóz selymeknél, csak a szál előkezelése után. Poliésztereknél egyébként aminok nem használhatók az észter kötés aminolízise miatt. A módszert kis vagy közepes dinamikus igénybevételű termékeknél használják (kis terhelésű hevederek, kisnyomású tömlők, gumicsizmák, stb.).

Az itatás a leginkább alkalmazott módszer a textil–gumi rendszerek tapadásának biztosításához. Az itatás az a művelet, amelynek során az erősítőszál felületét híg oldatból felvett tapadó anyaggal vonják be, majd megszáritják, és gumiban történő feldolgozásra alkalmassá teszik. Általában a végtelen szálú selyem szilárdsághordozók tapadásának fokozására hordozzák, hiszen ezek felülete sima, nem tagolt, és általában olyan aktív csoportot sem tartalmaz, ami a tapadást lehetővé tenné. Az itatás során a szál felületére vékony kaucsuk filmet kötnek, amely összevulkanizálható a gumival. Régebben az itatásra szerves oldószerben oldott anyagokat használtak kaucsukkeverékekkel. A leggyakrabban használt vegyületek az izocianátok, a leghatékonyabb a trifenil–metán triizocianát volt. Az izocianátok nedvesség hatására elbomlanak, elvesztik a tapadást fokozó hatásukat. Ezért volt szükség a szerves oldószer alkalmazására. Az oldatokat így is frissen, a készítés után max. 4–5 órás időtartamig lehetett felhasználni.

Az eljárás mindenféle műszálra alkalmazható volt. A szerves oldószeres itató oldatok koncentrációja 15–20%. Az alkalmazott oldószer általában benzin. Erős tapadás létrehozásához több szárazanyag felvitele szükséges, ezért néha kenéssel visznek fel töményebb oldatot a szál felületére. A szerves oldószeres itatás nagyon tűzveszélyes és környezeti kockázatokat rejtő művelet. Az EU direktívái 2002-ben előírták a szerves oldószeres felhasználásának 75%-os csökkentését, ezért a szerves oldószeres oldatokat ma már nem alkalmazzák itatásra.

A vizes közegű itatást széleskörűen alkalmazzák minden textíliára. Termoplasztikus szálaknál (poliamid, poliészter) az itatási és hőkezelési műveletet egy technológiai folyamatban végzik el. Ma mind a poliamid, mind a poliészter szálak itatásához a latex–formaldehid–rezorcin (RFL) oldattal történő itatást alkalmazzák. A rendszer alkalmazásakor tulajdonképpen a rezorcin és formaldehid reakciója játszódik le lúgos közegben. A polikondenzációs reakciónak több szakasza van. Az első szakasz az előkondenzálás az itatás előtt zajlik le, ezt a szakaszt érlelésnek is nevezik. Az utolsó szakasz az utókondenzálás pedig az itatás utáni szárítási műveletnél, és a vulkanizálás közben zajlik – hőkezelés.

Az egyes kondenzációs szakaszokban lejátszódó reakciókat össze kell hangolni, hogy a végtermékben a tapadás a maximális értéket vegye fel. Általában az érlelés körülményeit igazítják a többi szakaszhoz, mivel ezek paraméterei csak szűk határok között változtathatók. Az optimális érlelési paramétereket kísérletekkel határozzák meg. Az érlelés és a diszperzió készítés elvégezhető egy, vagy két lépcsőben. Az egy lépcsős eljárásnál az alapanyagokból készített diszperzióban végzik az előkondenzálást, a kétlépcsős módszernél egy külön oldatban készül érleléssel a rezorcin oldat, majd ezzel állítják elő a végleges diszperziót, amit még utóérlelésnek vetik alá.

Érlelés alatt a formaldehid reakcióba lép a rezorcinnal, és ennek eredményeként 4–5 metilol származék összekapcsolódik. Az időtartam függ a gyantakonzentrációtól, a pH-tól, a hőfoktól és a keveréstől. Ez az oka annak, hogy egymástól nagyon eltérő technológiai paramétereket adnak meg a különböző források. Amennyiben a diszperzió ammóniával stabilizált latexszel készül, az oldat előérlelését mindenképpen alkalmazni kell, a formaldehid ugyanis reagál az ammóniával, és hexametilén tetramint képez. Ily módon a gyantaképződés megáll, és a latex koagulálhat. Nátrium hidroxiddal stabilizált latexek esetén az előérlelés elmaradhat, de a kész diszperzióban végzett előkondenzálás hosszabb ideig tart a gyanta alapanyagainak kisebb kondenzációs reakciója miatt. Gondoskodni kell a folyadék folytonos keveréséről is, mert a kaucsukrészcsek a felületen kicsapódva bőrösödést okozhatnak. Az előérlelés elhagyható előkondenzált gyanta használatával, amit egyenesen a diszperzióba tesznek. A megfelelő kondenzációs fok eléréshez többlet formaldehid hozzáadása szükséges (a gyanta tömegének kb. 30%-a). Felhasználás előtt a diszperziót érlelik. A formaldehid-rezorcin arány meghatározza a kondenzáció sebességét, a kondenzált gyanta szerkezetét és molekulatömegét, ezen keresztül a tapadást. Érleléskor 2, vagy annál nagyobb molarány esetén az oldat viszkozitása hirtelen megnő, megindul a gélesedés. Legnagyobb tapadási értékek 2–4 formaldehid/rezorcin molaránynál érhetők el. A gyakorlatban a poliamid hoz 2:1–3:1 molarányt, viszkóznál 1,5:1–2,5:1 arányt alkalmaznak. Poliamid nagyobb formaldehid igénye azzal magyarázható, hogy a kötésben részt nem vevő amino csoportok is reakcióba lépnek a formaldehiddel metilol csoportokat képezve.

A tapadás függ az RFL oldat pH-jától, mivel a lúgosság befolyásolja a kondenzációs körülményeket. A legjobb adhézio értékeket az oldat 8–9 pH érték tartományában lehet elérni. Az ammónium hidroxid koncentrációja nem gyakorol jelentős hatást a tapadásra, ezért azt nátrium hidroxiddal együtt alkalmazzák, mert javítja a diszperzió stabilitását. Az ammónium hidroxidot azonban csak a rezorcin és a formaldehid reakciója után lehet adagolni. Az optimális pH érték változik az ágyazó keverék minőségétől, valamint a textil fajtájától is. Értékét mindig kísérleti úton határozzák meg. A gyanta–latex arány a leginkább meghatározó a tapadás kialakításában. A latex önmagában nem növeli a tapadást, az összevulkanizál a gumival, de nem köt a textilhez.

Az adhézió nagysága a gyanta mennyiségének növelésével nő. Túl nagy mennyiségű gyanta alkalmazása azonban káros, mivel a gumimennyiség fajlagosan csökken, és így romlik a kaucsukkeverékbe való beágyazódás, másrészt mivel a rezorcin-formaldehid gyanta merev, törekeny anyag, ami, ha túl nagy szerepet kap az oldatban, merevvé teszi az itatott kordot is. A gyakorlatban 12–17 térfogatrész RF gyantát használnak 100 térfogatrész kaucsukra. A latex komponens szerepe kétirányú. Egyrészt összevulkanizál a gumikeverékkel, másrészt, ha olyan csoportot tartalmaz, amelyik növeli a textilhez való kötődést, a textilhez való adhézióban is közvetlenül részt vesz. Ezért a diszperzió kaucsuk komponense általában azonos az ágyazó keverékével, vagy annak származéka.

A textil–gumi kötést főleg a kord felületére felvitt anyag adja. A kordba behatolt RFL oldat alkotórészei kisebb mértékben járulnak az adhézióhoz. Mikroszkópos vizsgálatokkal jól követhető a behatolás mértéke. A felhordott anyagmennyiség az itatófürdő koncentrációjától, viszkozitásától függ, és jól szabályozható az itatás utáni facsarással, a kord feszítésével az itatókádiban, vizes előítatás alkalmazásával, illetve vákuum elszívással.

A felvitt tapadásfokozó mennyiségével a kötési szilárdság telítési görbe szerint változik, egy bizonyos mennyiség után állandó értékre áll be. A túl sok tapadásfokozó felvitele azonban gazdaságtalan, és – mint láttuk – növeli a kord merevségét. Optimális esetben az RFL anyag felvitele a kord tömegének 4–8%-a.

A kord teljes átítatása merevvé teszi a kordot, ennek ellenre bizonyos esetekben alkalmazzák, mert meggátolhatja a filamentek szétbomlását a kord elvágásánál. Egyes textilkordok hidrofób tulajdonságúak, és ez befolyásolhatja a vizes diszperzióból történő anyagfelvételt. Ezért a különböző felületi tulajdonságú kordokhoz különböző koncentrációjú fűrdőket alkalmaznak.

A **hőkezelés** körülményeit a kord anyaga határozza meg. Viszkózselyemnél nincs szükség külön hőkezelésre, az itatás után csak szárítás történik. Poliamidnál a hőrögzítés történhet az itatás előtt, vagy után. A száltípustól és a technológiától függően poliamid 6 esetében 200–220°C-on max. 1 percig, poliamid 66 esetén 200–240°C-on maximum 1 percig történik a hőkezelés. A hőkezelés alatt a gyanta tovább térhálósodik, és az RFL film köt a textilhez.

A hőkezelés idejének függvényében a tapadás maximum görbe szerint változik. Elégtelen hőkezelésnél nem alakul ki a szükséges számú kötés, ezért a tapadás gyenge. Túl erős hőkezelés esetén a gumival való összeférhetőséget rontja. A kalanderezés és a vulkanizálás alatt alakul ki az ágyazókeverék és a textilre itatott film között az érintkezés. Az érintkezés erőssége és tökéletessége függ a keverék plaszticitásától.

Növelhető a tapadás, ha a kalanderezési hőmérsékletet növeljük, valamint, ha a vulkanizáláskor megfelelő folyási időt biztosítunk a keveréknek. Mindkettő a keverék beégési idejétől függ. Ismeretes, hogy a beégési idő növelése javítja a tapadást. Ennek jó beállítása lehetővé teszi, hogy magas vulkanizálási hőmérsékleten is jó tapadást lehessen elérni.

Aromás poliamidok itatása elvileg azonos az alifás poliamidok itatásával (PA 6, PA66). A hagyományos PA itatóoldatoknál azonban jobb tapadási eredményeket adnak a poliészterre kidolgozott egy, vagy kétlépcsős rendszerek. A második lépcső RFL diszperziója a jobb tapadás végett kormot is tartalmaz. Egyes műszálgártó cégek epoxi gyantával előitatot szálat vagy szövetet is szállítanak, amelyek a gumigyárban csak RFL diszperzióval itatni. A jó tapadás érdekében itatás után 210–2400C közötti hőkezelést kell alkalmazni. Poliészterek itatása esetén az RFL rendszer nem elegendő, egyrészt, mert a poliészter molekulákban nincsenek reakcióképes hidrogének, másrészt, mert nagyon hidrofób. Mivel az RFL rendszer kötése a gumi felé jó, a legtöbb eljárás a poliészter és az RFL film kötésének fokozásán alapszik.

Az egyes cégek több eljárást alkalmaznak. A szálfelület módosító eljárások nem váltak be. A hidroxil, karboxil, imino és amino csoportok létesítésével a szál felületén nem növelték számottevően a tapadást, de a szál szilárdsága csökkent. Az izocianátos rendszerek voltak az első iparilag alkalmazható itatófürdők. Az izocianát csoport köt a poliészterhez is és a kaucsukhoz is. A legegyszerűbb itatóoldat az ágyazó gumi keverékének szerves oldószeres oldata, amelybe izocianátot adagolnak. Kétlépcsős eljárásnál az első itatást a poliizocianát szerves oldószeres oldatával végzik, amelyet szárítás után RFL-es kezelés követ. A módszer jó, de a szerves oldószer már említett hátrányai, valamint az izocianát mérgező hatása miatt korlátozott a felhasználása. Vizes közegben az izocianátok dimerizálva, vagy blokkolva használhatók, mert reagálnak a vízzel és elvesztik aktivitásukat. Az izocianát dimer azonban nem érzékeny a vízre és magas hőmérsékleten izocianáttá disszociál. A blokkolt izocianátok reverzibilis addíciós termékek olyan vegyületekkel, amelyek mérsékelten reakcióképes hidrogént tartalmaznak. A blokkolás szobahőmérsékleten, a bomlás 170°C fölött játszódik le. Hátrányuk, hogy nem oldódnak vízben, csak golyósmalomban készült szuszpenzió alakjában használhatók fel.

Az itatófürdő diszpergáló és ülepedésgátló anyagot is tartalmaz. A leggyakrabban alkalmazott itatófürdők blokkolt dimer izocianátokat alkalmaznak egylépcsős rendszerben RFL-el keverve, vagy kétlépcsős itatással poli epoxid gyantával kombinálva. A kordokat itatás és szárítás után magas hőmérsékleten (220–240°C) hőkezelik. Módosított PVC alapú itatórendszert kettős fürdőben alkalmaznak. Az első fürdő polivinil klorid latexet és reakcióképes kis molekulatömegű poliamid oligomereket tartalmaz. A második fürdő RFL rendszer. Az első hőkezelés 200–220°C-on, a második 150°C-on történik. Ez a rendszer ma már történelmi. A kereskedelemben kész itatóoldatokat árulnak különböző márkanév alatt. A textilkordokat a szálgártó cég már előkezelt, vagy itatott állapotban szállítja a gumiipar részére, így a gumigyárnak nincs szüksége drága és környezetszennyező itató eljárások és berendezések alkalmazására, amit ráadásul még nem is biztos, hogy kihasználnak. Vannak olyan szálak, amelyeket egyáltalán nem kell kezelni beépítés előtt, vannak amiket csak RFL oldattal kell itatni.

Acélkord tapadása a gumihoz.

: Az acélkord tapadását a gumihoz a huzalra felvitt sárgaréz, cink, ritkábban bronz vagy vörösréz bevonatokkal biztosítják. A sárgaréz bevonatot már régóta alkalmazzák az acél-gumi tapadás növelésére. Ma általánosan elfogadott elmélet a tapadási mechanizmus magyarázatára, hogy a kord sárgarezezett felületén a tapadás kialakulásánál kémiai reakciók játszódnak le, amelyek eredménye réz szulfid molekulák és cinkoxid és cinkszulfid képződés.

A fém-gumi tapadást a gumiban lévő kén keresztkötések és a rézszulfid közötti kovalens kötés hozza létre. Annak ellenére, hogy ezek a kötések nem túl erősek, a gumi és a sárgaréz közötti tapadás nagyobb, mint a gumi szakítószilárdsága. Ez azzal magyarázható, hogy a szulfid réteg belenő a polimerbe, és ezáltal növeli az érintkezési felületet.

Tapasztalati tény, hogy csak poliszulfid hidak növelik a tapadási szilárdságot. A tapadás mértéke szempontjából létezik egy optimális rézszulfid rétegvastagság. A felületen lévő rézoxid rontja a tapadást. A sárgaréz összetétel és a bevonat vastagsága kihat a tapadásra. A tapasztalat szerint a nagyobb réztartalomhoz vékonyabb, és kisebb réztartalomhoz vastagabb bevonat szükséges a megfelelő tapadás eléréséhez.

Az acélkord-gumi kötést megtámadja a gumin átdiffundált oxigén, a víz, a só, valamint a szabad kén, amely a poliszulfid kötések termikus degradációjakor keletkezik. A folyamatot gyorsítja a hőmérséklet emelése. E hatások következményeként a sárgaréz és a cinkszulfid cinktartalma cinkoxid/hidroxiddá alakul, a réz rézszulfiddá alakul át. A meghibásodás ezekben a rétegekben lép fel. Miután a sárgaréz elfogyott, megindul a vas rozsdásodása. A folyamatot már a keverék nedvességtartalma is elindíthatja. A cink átalakulási folyamata visszaszorítható, ha a sárgarézhez bizonyos fémeket ötvözünk kis mennyiségben (Sb,As,Sn,Ni,Fe,Co,Mn,Ti).

A jobb korrózióállóságot ezeknél az ötvözeteknél kísérletileg igazolták. Az ágyazó keverék összetételének megválasztásánál a következő szempontokra kell figyelemmel lenni: A legtöbbször szulfénamid típusú gyorsítókat használnak a hosszú indukciós periódus miatt, ami szükséges a megfelelő határfelület kialakításához, valamint a poliszulfid kötések kialakulása miatt. A jó kötési szilárdság 3–5 térfogatrész kéntartalom mellett érhető el. A gyorsító mennyisége 1 tömegrész alatt van.

A korom töltőanyag 50 térfogatrészig növeli a tapadást. A cinkoxid mennyisége a keverékben 3–10 térfogatrész között van, az ólomoxid és a szilícium dioxid növeli a tapadást, a sztearinsav mennyisége kicsi a keverékben. Az öregedés gátlók nem befolyásolják a tapadást. A lágyítószeres csökkentik a modulust, tehát a tapadás erősségét is.

Tapadásfokozó anyagként kobalt vegyületeket adagolnak az ágyazó keverékbe. Ezek növelik a tapadást és gátolják a kord nedvesség okozta korrózióját, de katalizálják a kaucsuk degradációját, ezért fokozzák a tapadás hőöregedési tulajdonságait. Ez a jelenség már túlvulkanizáláskor is megindul.

Cink bevonatú acél sodronyokat főleg nagynyomású tömlőkben alkalmaznak, ahol a tapadási szilárdság nem olyan kritikus, mint a gumiabroncsoknál. A cink adhéziós mechanizmusa hasonló, mint a sárgarézé, csak itt cinkszulfid és a poliszulfid keresztkötések között lépnek fel az adhéziós erők. A vulkanizálás alatt azonban a víz hatására cinkoxid/hidroxid is képződik, ami rontja a tapadást. Ez a reakció gyorsabb, mint a cinkszulfid képződés. Ez az oka annak, hogy a cink-gumi tapadás csak a sárgaréz értékének 30–40%-át éri el. A kobalt sók és az RFS rendszer felgyorsítják a cink szulfidálódását, és visszaszorítják a cinkoxid képződést, így erősebb cink-gumi kötéseket hoznak létre. A cink tapadási értékei nagyon szórnak a felületen lévő oxid réteg miatt. Kobalt sókkal azonban ez a réteg eltávolítható, és így nő a tapadás.

Vörösréz és bronz bevonatot ritkán használnak fém-gumi tapadás növelésére. A vörösréz a legolcsóbb bevonat, a vashuzal rézszulfát oldatba történő merítésével hozható létre. Mindkét bevonat esetében a horganyzott felülettel azonos tapadás érhető el. Az ágyazó keverék összetételére a sárgaréz bevonatnál elmondottak érvényesek.

Impregnálás

A szilárdsághordozó felületére valamilyen technikával tapadást fokozókat juttatnak, ez a művelet az impregnálás, szakzsargonban *az itatás*. Vannak olyan technológiák, amelyeknél a tapadást fokozó anyagot – ez esetben pasztát – kenéssel, vagy kalanderezéssel viszik a szilárdsághordozóra (általában szövetre), kordok vagy laza kordszövetek alkalmazásakor azonban a cérnákat tapadást fokozó rendszerek híg oldatába merítik, majd a megfelelő nedvességtartalom beállítása után szárítják, és szükség szerint hőkezelik.

Az oldószer régebben szerves szénhidrogén volt, manapság azonban környezetvédelmi és tűzbiztonsági szempontok miatt ezeket az anyagokat nem használják, és kizárólag vizes disperzió formájában viszik fel a tapadást fokozót a szálakra. A műszálak és elsősorban a végtelen szálú műselymek megjelenése óta ez a művelet nélkülözhetetlen elemévé vált a gumigyártásnak. Az itatásnál a szövetet teljes mértékben bemerítik az itatófürdőbe, ami kis viszkozitású folyadék, azaz híg oldat. Erre azért van szükség, hogy az oldat viszonylag rövid idő alatt be tudjon hatolni a szálak közé. Attól függően, hogy mi az itatott cérna további felhasználása a behatolást úgy szabályozzák, hogy az a szál teljes keresztmetszetébe történjen, vagy csak annak a külső részébe. A behatolt anyag szárítás után összeragasztja a filamenteket, a szövetet merevvé teszi. Ha ez olyan mértékű, hogy megnehezíti a szövet további feldolgozását, akkor csak a keresztmetszet egy részét impregnálják.

Az itatóanyag behatolását gátoni lehet a kord feszítésével, vagy vízben történő előítatással. Teljes átítatást akkor használnak, ha a belőle előállított termékben dinamikus igénybevételek miatt az elemi szálak koptathatják egymást (pl. üvegkord) vagy ha a gáz, vagy folyadék áteresztés léphet fel, vagy, ha vágásnál a cérna szétbomolhat, és ezt meg kell akadályozni.

Az itatáshoz bonyolult itató sorokat alkalmaznak, amelyek egy technológiai sorban több művelet elvégzésére alkalmasak. A műselymek bevezetésével szükségessé vált a feszítés alkalmazása szárítás közben a zsugorodás elkerülésére.

A poliamidot, poliésztert és az aramidot hőrogzítani kell, a poliészter és az aramid esetében kétszeres itatást alkalmaznak. Poliamidnál két műveleti sorrend lehetséges, a hőrogzítés történhet az itatás előtt, vagy után. Ha a hőrogzítés az itatás előtt történik, nagyobb tapadást lehet elérni, mert a textilre itatott réteget kevesebb hő éri, mint ha a hőrogzítés az itatás után történik.

Többszörös itatást lehet alkalmazni több itatókád egymás utáni elhelyezésével és többzónás hőkezelés közbeiktatásával, így széles határok között lehet megválasztani a műveletek sorrendjét. A berendezések működését számítógép vezérli. Az ilyen berendezések általában drágák, és igen nagy a termelő kapacitásuk, ezért csak ott érdemes beruházni, ahol ez a kapacitás gazdaságosan kihasználható (abroncsgyárak, heveder gyárak, vagy kordszövet gyártó és forgalmazó vállalatok).

Az impregnáló sort gyakran egymás után, egy üzemben helyezik el a felpréselő kalanderekkel, sőt gyakran egymással sorba kapcsolva együtt üzemeltetik. Ez termelékenység szempontjából előnyös megoldás lenne, de bonyolultsága, a gyártósor hossza miatt gyakran léphetnek fel üzemzavarok, és akkor az egész műveleti sort le kell állítani a javításhoz, vagy le kell választani az itató egységet, hogy függetlenül is tudjon működni a két gyártósor.

Az itató berendezések hossza a megvalósított technológiai lépések számától és milyenségétől függően 20–70m lehet. A hőkezelő tornyok és a kompenzátorok magassága elérheti a 20m-t is. Az itatási sebesség elérheti a 150m/percet, a kordszövet szélessége 160–200cm. Az itató egységet különböző segédüzemek szolgálják ki: a diszperziót készítő üzem, a fűtés szabályozó egység, szövettekercs szállító és tároló egység, a hőrogzító és kompenzátor tornyokban a hozzáférést biztosító liftek, stb.

Működtetésükhöz víz, gőz, elektromos energia, és pneumatikus szabályozásnál sűrített levegő szükséges. *Az itató berendezéseknek a következő fő egységei vannak:* a kord nagy dobokra tekercselve érkezik, ezek tárolására, és a kord letekercselésére szolgál a **letekercselő egység**. A letekercselés sebességét és fékezését szövet feszültség mérő vezérli. A tekercselőre a kordtekercseket daruval emelik be, ezen mérleg van, hogy a szövet tömegét itatás előtt meg lehessen határozni, s az adatot a vezérlő automatika fel tudja dolgozni.

A letekercselt kordszövet egy végtelenítő berendezésen halad át, amelynek feladata, hogy a kordcséve cseréjekor a következő cséve szövetét az előzőhöz lehessen rögzíteni. Erre a célra vagy varrógépet használnak (ha a szövet láncirányú rögzítése elég erős ahhoz, hogy a végtelenítést megtartsa, vagy – és ez a gyakoribb, vulkanizáló prést. Ebben a két vég közé 15–30cm széles nyersgumi csíkot helyeznek, majd azt a préssel kivulkanizálják. Olyan vulkanizáló rezsimet alkalmaznak, hogy a vulkanizálás 1 percen belül megtörténjen.

A végtelenítés, a csévecseré és bármilyen rövid idejű leállítás időtartamára a termelés folyamatosságának biztosítására **szövetároló berendezést (kompenzátort)** helyeznek el a technológiai sorban. Kompenzátort alkalmaznak az itatás után is, mivel az itatott szövetet is feltekerkselik (hacsak nem jut közvetlenül a felpréselő kalanderbe), a feltekerkselésnél is szükség van a csévék cseréjére. A kompenzátor a sor tetején rögzített álló hengerekből. És ezek között függőleges irányban mozgó hengerekből áll. Ezek között 250m hosszúságú kordszövet fér el, ha a mozgó hengerek az alsó pozícióban vannak. Amikor a szövetellátás valamilyen okból megáll, a mozgó hengerek felfelé mozognak, és a technológia a köztük lévő szövetet használja fel.

A kompenzátorból kerül az anyag az **itató vályúba**, amely U, vagy V keresztmetszetű rozsdamentes kád. Folyadék ellátása automatikus, a folyadékszint csökkenésekor a nívómérő megindítja az oldatellátást. A vályúban a textília néhány hengeren halad át az itatáshoz szükséges idő függvényében, majd a többlet oldatot lehúzó léccel, 2-3 facsaró hengerrel és/vagy vákuum elszívással távolítják el az anyagról. A felvitt anyagmennyiség 3-6% a szövet tömegére vonatkoztatva. A leszívott oldatot leválasztóban visszanyerik, és visszavezetik a vályúba.

A **facsaró berendezések** feszítő berendezésként is működnek. A feszítő berendezések egyrészt továbbítják a szövetet, másrészt biztosítják a megfelelő szálfeszültséget és szállnyúlást. A hengerek fűthetők, vagy hűthetők, elrendezésük a kisebb helyigény miatt általában függőleges. A hengerszám csökkenthető gumírozott szorítóhenger beszerelésével, de ez károsíthatja a szövetet, ezért alkalmazása korlátozott. Amennyiben az itató berendezés valamilyen ok miatt leáll, a feszítőmű fékrendszere automatikusan bekapcsol, nehogy a szálfeszültség megváltozzon. Az itatóson a szövetfeszítést automata erőmérő berendezéssel mérik.

A **hőkezelő zóna** viszkóz selyemnél szárító zónaként, termoplasztikus műszálaknál szárító és hőrögztető szakaszokból áll. Ezek általában magas tornyok, amelyekben a szövet krómozott hengerek között halad fel és le, miközben forró levegőt fújnak rá. A szárító toronyból távozó nedves levegő egy részét friss levegővel cserélik ki, majd melegítés után visszatáplálják. Ha gép leáll, a befúvás átváltható hideg levegőre, hogy a textília ne károsodjon. Az előírt hőkezelési időt a szövet sebességétől függően a fűtött zóna hosszával állítják be.

A levegő melegítése direkt fűtéssel valósítható meg. Ez használja fel az itató berendezés energia igényének legnagyobb hányadát. A **szárító berendezés** két zónából áll: az elsőben a szövet víztartalma 50-70%-ról 15%-ra csökken, a másodikban 1-2%-ra. A hőrögztető torony egylépcsős hőkezelésnél magas hőmérsékletű feszítő és normalizáló zónákból áll. Az utóbbiakat általában hűtőzóna követi. A hőkezelés történhet két zónában is.

A hőkezelés paramétereit (idő, hőmérséklet, feszítőerő) kísérleti úton határozzák meg. A berendezések vagy állandó nyújtással, vagy állandó feszítéssel dolgoznak. A nyújtásra hőkezelő előtt és után lévő feszítő berendezés sebességeinek különbségével állítják be. A feszítő berendezés a vonalba beiktatott erőmérővel mérik, ami szabályozza a feszítő berendezések fordulatszámát.

Az állandó nyújtást kismoduluszú textíliáknál, az állandó feszítést a nagyobb moduluszú anyagoknál alkalmazzák. Az itató sor végén a **feltekerceselő berendezés** található, amely két tekercs befogadására alkalmas. Amíg az egyik fogadja az itatóból érkező anyagot, addig a másik oldalon cserélni lehet a csévét.

Az itató soron kiegészítő eszközöket is elhelyeznek. Ilyen a **kordmerevség csökkentő** berendezés, amelynek feladata, hogy a túl merevvé vált kordokat kissé megtöri. Ehhez a szálakat egymással szemben álló fémlécek között vezetik át. Az itató berendezésen átfutott szövet hajlamos a keresztirányú zsugorodásra. Ez jelenség a szövet szélénél nagyobb mértékű. A kiküszöbölésére meghajtott hengereket alkalmaznak, amelyek a középtől a szálak felé terelik az anyagot. Egy másik megoldásnál az anyagot ívelt gumihengerek között vezetik át, úgy, hogy kis íven érkezik a hengerre, és a nagyobb íven távozik. A szövet a két ív közötti hosszúságkülönbségnek megfelelő mértékben szélesedik. A rendszerben a középpont tartására központosító eszközt iktatnak be. Ez két hengerből álló keret, amelybe az egyik henger fölött lép be az anyag, a másik henger alján lép ki. Ha a szövet középvonala elmozdul, a keretet kis mértékben elfordítják, így a szövet pályáját önmagával párhuzamosan kis mértékben el lehet tolni.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Gumiipari technikus hallgatók számára igen kevés nyomtatott forrásanyag áll rendelkezésre a tanuláshoz. A legátfogóbb mű a Gumiipari Kézikönyv, amely 1988-ban jelent meg, és amelynek tartalma túlmutat a gumiipari technikusoktól elvárható szinttől. Annak ellenére, hogy a Kézikönyv már több, mint húsz éves, a mai napig használható, és használják. Ennek oka, hogy a gumiipar az alaptermotechnológiákat tekintve csak kevéssé tér el a 20 évvel ezelőtti színvonalától, gyakorlatilag ugyanazokat az eszközöket és módszereket használják, a fejlődés elsősorban az infrastruktúrában, a vezérlésben, az automatizációban történt.

A rendszerváltás előtti években a magyar gumiipar gyakorlatilag egy nagyvállalattól állt, ez a TAURUS Gumiipari Vállalat volt, és néhány kisebb gumifeldolgozó kisiparosból, vagy TSZ melléküzeméből. A keverékellátást, a fejlesztést, a képzést és az információszolgáltatást a TAURUS biztosította, így a technikusok képzéséhez szükséges tankönyvek, jegyzetek is a TAURUS gondozásában jelentek meg. Aki hozzá tud jutni ezekhez a régi kiadványokhoz, olvassa el őket, címük megtalálható az ajánlott irodalom jegyzékben. A legtöbb gumigyár már létezett a TAURUS idejében – jó néhány közülük a TAURUS gyára volt, ezek könyvtárában ezek a könyvek megtalálhatók, érdemes keresni őket. Aki így nem tud hozzájutni a könyvekhez, próbálja meg műszaki könyvtárakban, a könyvkiadók archívumaiban keresni a szükséges irodalmat.

A szakmai információtartalom című részt igyekeztünk olyan részletességgel elkészíteni, hogy az önmagában is alkalmas a szükséges tudás elsajátítására. Javasoljuk, hogy a tanuló először olvassa el a jelen dokumentumban összefoglalt információanyagot, amennyiben valamit nem ért, keresse meg a forrásanyagot az ajánlott irodalomjegyzék szerint, elsősorban a Gumiipari Kézikönyvet, vagy forduljon a tananyagot előadó oktatóhoz segítségért. Amennyiben úgy érzi, hogy az anyagot érti, oldja meg a következő fejezetben felsorolt gyakorló feladatokat, hogy tudását ellenőrizze. Amennyiben a feladatokat a "Megoldások" című rész szerint helyesen oldotta meg, a tananyag elméleti részét elsajátította. Nagyon célszerű, hogy a szakmai ismeretanyagban ismertetett eszközöket, és ezek működését a gyakorlatban is lássa. Ezért – amennyiben meg tudja oldani, szervezze meg, hogy látogatást tehessen olyan termelő egységeknél, ahol ezeket a technológiákat és gépeket alkalmazzák, így működésben is meg tudja szemlélni. Ehhez a gyakorlati oktatója biztosan segítséget nyújt. Célszerű az üzemlátogatáson feljegyzéseket készíteni, hogy a látottakat be tudja illeszteni az elméleti ismeretanyagba. Amennyiben ezeket a javaslatokat követi, remélhetőleg nem lesz probléma az anyag elsajátításában és a vizsga sikeres letételében.

MUNKKANYAG

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. Sorolja fel, milyen termékekben alkalmaznak szilárdság hordozókat!

2. Hasonlítsa össze az egyszerű gumitermékek és az erősített gumitermékek szerkezetét!

3. Mondja el, mi a legmodernebb módszer az erősített gumirendszerek viselkedésének leírására, és ennek mi a lényege!

4. Sorolja fel az erősített gumirendszerek alapvető igénybevételeit, és mondja el mi ezek lényege!

5. Mondja el, mi a dinamikus igénybevétel, és mi a fáradékonyság!

6. Ismertesse a Wöhler-görbét, és mondja el milyen információkat tartalmaz!

7. Ismertesse milyen jellemző igénybevételek lépnek fel az ékszíjakban, a hevederekben a tömlőkben és a gumiabroncsokban.

8. Sorolja fel, milyen adatokkal jellemzik az erősítő szálak mechanikai tulajdonságait, és hogyan vizsgálják ezeket.

9. Ismertesse a nedvesség hatását az erősítőszálak tulajdonságaira

10. Ismertesse, mit értünk a tulajdonságok időfüggésén, és mi a hatása a gyakorlatban

11. Sorolja fel a gumiiparban használt fontosabb szilárdsághordozó anyagokat

12. Ismertesse a szilárdsághordozó anyagok gumiban való alkalmazásának kritériumait

13. Ismertesse, mi a különbség az aromás és az alifás poliamidok között szerkezetileg, és a tulajdonságokat tekintve

14. Ismertesse, milyen szerves szilárdsághordozókat ismer, és mik ezek tulajdonságai

15. Ismertesse a cérnák konstrukciós jellemzőit

16. Mondja el, milyen hatások okozzák a cérnák szilárdságvesztését az alapfonal filamentek szilárdságának összegéhez képest

17. Sorolja fel, milyen szövetkonstrukciókat ismer

18. Ismertesse, hogy állítják elő az acélkordokat

19. Ismertesse, milyen tulajdonságokkal kell rendelkezni a gépjármű abroncsokban alkalmazott acélkordoknak

20.Sorolja fel az acélsodronyok alkalmazási területeit a gumiiparban

21.Ismertesse, milyen kötések eredményezik a szálanyag- gumi közti tapadást

22.Mondja el, miért jobb a tapadás a vágott szálú cérnák esetében, mint a monofilament selymeknél

23.Ismertesse, mi az itatás

24.Ismertesse, milyen itató rendszereket használnak a gumiiparban

25.Ismertesse, mi hozza létre az acélkord tapadását a gumihoz

26. Ismertesse, miért használnak hőkezelést az erősítőszálak itatásánál

27. Ismertesse, melyek az itató sor fő részei

28. Ismertesse, hogyan működik a kompenzátor, és mi a szerepe

29. Sorolja fel, mik az előnyei a vizes itatásnak a szerves oldószeres itatáshoz képest

30. Ismertesse a részleges és a teljes keresztmetszetben történő itatás előnyeit és hátrányait.

MEGOLDÁSOK

- 1./Gumiabroncsok, ékszíjak, hajtószíjak, hevederek, tömlők, stb
- 2./Az egyszerű termékek csak gumiból állnak, nem tartalmaznak szilárdsághordozót, míg az erősített gumitermékek szilárdságát a beleépített vázerősítő anyagok biztosítják
- 3./A végeselemes számítás. Lényege, hogy a gumiterméket véges számú térfogatelemre bontjuk, és vizsgáljuk a térfogatelemek közös csúcspontjainak elmozdulását erő hatására.
- 4./Húzás, amikor a gumirendszert egyirányú erőhatás éri. Ennek hatására a test hossza nő, a testben a deformációtól függő feszültségek ébrednek. A nyomás ennek ellentéte. A nyírásakor a testben lévő rétegek mozdulnak el egymáshoz viszonyítva. A deformációt szögelfordulásban fejezzük ki, a deformációtól függő nyírófeszültségek ébrednek. A hajlítás esetén a test deformációja egy íven történik, az ív külső oldalán húzás, belső oldalán nyomás lép fel.
- 5./A dinamikus igénybevétel esetén a testet időben változó periodikus erőhatások érik, ennek megfelelően a deformáció és a feszültség is periódikusan változik. A test az ilyen deformációk hatására elveszti eredeti szilárdságát, ez nevezzük fáradékonyságnak.
- 6./A Wöhler görbén a test tönkremeneteléhez tartozó dinamikus ciklusszám függvényében ábrázoljuk a deformáció okozta feszültséget. Egy bizonyos feszültség alatt a görbe párhuzamossá válik az abszcisszával, ez a kifáradási határ, ez alatt a feszültség alatt a test végtelen ciklusszámmal terhelhető.
- 7./Az ékszíjakban a húzás dominál, a hajtó és a hajtott tárcsáknál hajlítás lép fel. A hevederek igénybevétele hasonló, de itt a súlyterhelés miatt a hevederen vajú alakul ki. A tömlők nyomás alá kerülnek, a bennük lévő szilárdsághordozók ennek következtében nyúlnak. A gumiabroncsok erősítőbetétei a levegő nyomás hatására megnyúlnak, a gördüléskor nyomás és hajlítás lép fel.
- 8./Az erősítő szálak mechanikai tulajdonságait a finomsággal, a szilárdsággal (húzó, és hurokszilárdság), a modulussal jellemzik ezek vizsgálata általában húzógéppel történik. Az ütőszilárdságot Charpy-kalapáccsal, a hajlítással szemben ellenállást a Taber féle merevségmérővel vizsgálják.
- 9./Elsősorban hidrofil csoportokat tartalmazó szálak (PA, PÉ, stb) nedvesség hatására duzzadnak, hosszuk csökken, átmérőjük nő. A zsugorodás hatására a szakítóerő és a modulus csökken.
- 10./A tulajdonságok időfüggése azt jelenti, hogy az erőhatás és a deformáció nincs szinkronban. Egyrészt állandó erő hatására a deformáció nem áll meg egy adott határnál, hanem lassan tovább folytatódik, másrészt adott deformációval terhelve a testet a testben ébredő feszültség az időben csökken. Periódikus igénybevétel esetén a deformáció és a testben ébredő feszültség fázisa egymáshoz képest eltolódik.

11./Pamut, Viszkózselyem, poliamid selyem, poliészter selyem, aramid, acélszál, üveg, szénszál.

12./A legfontosabb, a gumihoz való tapadás, a nagy szilárdság, nagy modulusz, méretállandóság, dinamikus hatásokkal szembeni ellenállás, hőállóság, kis sűrűség, kémiai és biológiai hatásokkal szembeni ellenállás, gazdaságosság

13./Az alifás poliamidok láncában lineáris szegmensek vannak (pl adipinsav és hexametilén diamin,) míg az aromás amidokban aromás gyűrűk vannak(parafenilén diamin és tereftálsav polikondenzátuma) Az alifás poliamidok termoplasztikus polimerek az aromás amidok nem olvashatók, szilárdságuk extrém nagy.

14./Az acél, nagy szilárdság, de a fajlagos szilárdsága a nagy sűrűség miatt a legkisebb. Sárgaréz bevonattal kiválóan tapad a gumihoz. Az üvegszál szilárdsága nagy, a hajlítással szembeni ellenállása nem jó, a gumihoz való tapadását csak speciális felületkezeléssel lehet biztosítani. A szénszálak szerkezete hasonló a poliakrilnitril szálakéhoz, mert azokból állítják elő pirolízissel. Jó a szilárdságuk, a fajlagos szilárdságuk sokkal nagyobb a többi szálanyagénál, magas árak miatt alkalmazásuk korlátozott.

15./A sodrathossz, sodratszám, sodrat irány, a vastagság.

16./A sodráskor a cérna hajlító igénybevételnek van kitéve, ezért a filamentek szilárdsága kisebb, mint egyenes állapotban.

17./Vászonkötésű, sávolykötésű, tört sávolykötésű, ripszkötésű (sima és vetülék ripsz) szövetek

18./Hengerelt drótból indulnak ki, amelyet termikusan kilágyítanak, majd több lépcsőben húzással vékonyítják. Az utolsó húzási lépcső előtt sárgaréz bevonatot visznek fel rá elektrolízissel, majd 0,15–0,4mm vékonyra húzzák.

19./Az abroncskordoknak jó tapadással kell rendelkezni a gumihoz, jó dinamikus tulajdonságokkal, fáradási ellenállással kell rendelkezni, korrózióállóknak kell lennie. A futóövben lévő kordoknak nyomással szemben is ellenállónak kell lennie.

20./Teherautó abroncs, személyabroncs futóöv, hevederek, speciális ékszíjak, nagynyomású tömlők

21./Mechanikus kötés, diffúziós kötés, kémiai kötés

22./A vágott szálú cérnák esetében több a gumiba kötődő vég, mint a végtelen szálú rendszerekben, így a mechanikai kötések mennyisége is nagyobb.

23./Az itatás az a technológiai művelet, aminek során a szál felületére tapadásfokozó réteget visznek fel a szál tapadásfokozó oldatába történő merítésével.

24./Szerves oldószeres rendszerek, vizes diszperziós rendszerek, RFL-rendszerek (rezorcín-formaldehid-latex), izocianátos rendszerek

25./Az acél felületére vitt sárgaréz reakcióba lép és kötődik a gumi poliszulfid kötéseikhez.

26./Az erősítő szálak legtöbbje duzzad a vizes itatás hatására, másrészt a szilárdság növelhető, ha a duzzadási erőnél nagyobb feszítőerővel húzzuk a rendszert, harmadrészt a hőkezelés hatására a textilszál méretei stabilizálódnak, szilárdsága nő.

27./Az itatósor fő részei a letekerítő egység, a végtelenítő, a kompenzátorok, a feszítő és hőrögzítő zónák, az impregnáló kád(ak), a szárító, hőrögzítő zónák, feltekerítő egység

28./A kompenzátor a torony felső részén álló és a toronyban függőleges irányban mozgó hengerekből áll, amelyek között halad a szövet. Amikor a szövetellátás, leáll, a mozgó hengerek felfelé mozognak, és a rendszer a köztük lévő szövetet használja. Amikor az ellátás megindul, a hengerek lemennek, és a köztük lévő hossz feltöltődik anyaggal.

29./A vizes itatásnál nincs szükség tűzveszélyes oldószerek alkalmazására, kisebb a levegő szennyezés kockázata, nincs szükség regeneráló egységre, olcsóbb.

30./A részleges itatásnál a keresztmetszetnek csak egy részét vonják be a tapadásfokozóval. A szál merevsége kevésbé változik, de a tapadása sem olyan nagymértékű, mint a teljes impregnáláskor. A teljes impregnáláskor a tapadási tulajdonságok jobbak, de a kord merevsége nagyon megnő.

IRODALOM JEGYZÉK**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- Gumiipari Kézikönyv, TAURUS-OMIKK, Budapest, 1988. 250-306 oldal, 382-389.oldal2.
- Műanyag és gumiipari kislexikon: Szerkesztette: Kiss Béla, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- Bodor G.: Szálas anyagok szerkezete, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- Dr.Bodor G.:A Polimerek szerkezete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- Pap Zsolt: Gumiipari Technológia I., Szakmunkásképző iskolai tankönyv, Az Ipari Minisztérium megbízásából kiadta a Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989

AJÁNLOTT IRODALOM

- Gumiipari Kézikönyv, TAURUS-OMIKK, Budapest, 1988. 250-306 oldal, 382-389.oldal2.
- Műanyag és gumiipari kislexikon: Szerkesztette: Kiss Béla, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- Bodor G.: Szálas anyagok szerkezete, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- Dr.Bodor G.:A Polimerek szerkezete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- Pap Zsolt: Gumiipari Technológia I., Szakmunkásképző iskolai tankönyv, Az Ipari Minisztérium megbízásából kiadta a Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989

A(z) 7007–08 modul 013–as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
33 543 02 0001 52 01	Gumiipari technikus (az elágazásnak megfelelő szakirány megjelölésével)
33 543 02 0010 33 01	Abroncsgyártó
33 543 02 0010 33 02	Formacikk-gyártó
33 543 02 0010 33 03	Ipari gumitermék előállító
33 543 02 0100 31 01	Gumikeverék-készítő

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

15 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató