

I. B. XALIQULOV, M. M. NISHONOVA

ELEKTROTEKNIKA MATERIALLARI



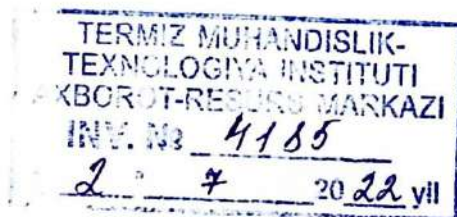
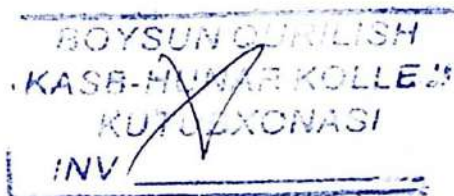
**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**O'RTA MAXSUS KASB-HUNAR TA'LIMI
MARKAZI**

I. B. XALIQULOV, M. M. NISHONOVA

**ELEKTROTEXNIKA
MATERIALLARI**

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan elektrotexnika yo'nalishidagi kollejlarda uchun o'quv
qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*



«FAN VA TEKNOLOGIYA»—2006

I. B. Xaliqulov, M. M. Nishonova. Elektrotexnika materiallari. T., «Fan va texnologiya», 2006, 168 bet.

Ushbu o'quv qo'llanma kasb-hunar kollejlarining elektron texnikasi mutaxassisligi o'quvchilari uchun mo'ljallangan bo'lib, bosh boshqarma o'quv rejasida ko'zda tutilgan mavzularni o'z ichiga olgan. O'tkazgichlar, dielektriklar, yarim o'tkazgichlar va magnit materiallar haqida tushunarli tarzda ma'lumotlar keltirilgan. Ushbu kitob elektrotexnika va elektronika sohasida faoliyat ko'rsatayotgan barcha mutaxassislar uchun foydali bo'lishi mumkin.

Taqrizchilar: **T. K. Jabborov**—texnika fanlari nomzodi, Farg'ona politexnika instituti dotsenti; **B. X. Karimov**—fizika-matematika fanlari nomzodi, Farg'ona Davlat universiteti dotsenti.

ISBN 978-9943-10-006-0

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2206-y.

KIRISH

Elektrotexnika materiallari o'z ichiga fizika, ximiya va matematika kabi fanlar asosida shakllangan keng qamrovli alohida fan bo'lib, zamonaviy elektrotexnika va elektronika sohasida qo'llanilayotgan barcha materiallarning xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan. Elektrotexnika materiallari, bular elektr mashinalar, apparatlar, asboblari va elektr jihozlari hamda elektr qurilmalarining boshqa elementlari tayyorlanadigan maxsus materialdir. Elektrotexnika materiallari turli-tuman. Ularni bir nechta katta guruhlariga ajratish mumkin: elektr o'tkazgichlar, elektr izolatsion materiallar (dielektriklar), yarim o'tkazgichlar, magnit materiallar.

Ma'lumki, elektr mashinalari, apparat va qurilmalarning ishonchli ishlashi tegishli elektrotexnika materiallarining sifatiga va to'g'ri tanlanishiga bog'liq.

Elektr izolatsion, magnitli va boshqa elektrotexnika materiallari ratsional tanlanganda o'lchamlari va massasi kichik, ishonchli ishlaydigan elektr uskunalari yaratish mumkin. Lekin, buning uchun elektrotexnika materiallarining xossalari va ularning elektr kuchlanishi, temperatura hamda boshqa faktorlar ta'sirida o'zgarishini bilish kerak. Biror elektrotexnika materialining xossalari to'liq baho berish uchun uning mexanikaviy, elektr, issiqlik va fizik-kimyoviy xarakteristikalarini bilish kerak. Magnitli materiallarda magnit xarakteristikalarini ham bilish zarur, ular bu materiallarning magnitli xossalari baholashga imkon beradi. Bundan tashqari, texnika va texnologiyani rivojlantirish uchun ushbu tasniflanishdan tashqarida bo'lgan boshqa materiallarning paydo bo'lishiga olib kelmoqda. Masalan, o'z xususiyatlari bilan bu to'rtlikka kira olmaydigan o'ta o'tkazgichlar fanning eng yangi yutuqlari asosida jadal rivojlanib kelayotgan nanomateriallar bular qatoriga kiradi.

O'quv qo'llanmada materialning xossalari, uning tuzilishi, atom va molekulalarining xususiyatlaridan o'zaro bog'lanishdagi parametrlardan kelib chiqqan holda ko'rib chiqilgan. Matematik mulohazalar minimumlashtirilgan, materialning fizikaviy xususiyatlari, tayyorlanishlari va ishlatilishiga ko'proq e'tibor berilgan. Ba'zi materiallarning elektr maydoni, magnit maydoni, temperatura, kimyoviy faol muhitlardagi holatlari ham yoritilgan. Ularning mexanikaviy elementlari alohida e'tibor berilgan.

ELEKTROTEXNIKA MATERIALLARNING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI

1.1. Hozirgi zamon elektrotexnikasi va radioelektronikasida elektrotexnika materiallarning o'rni

Elektrotexnika materiallar konstruksion (yog'och, po'lat) va yordamchi materiallar (qalay, yelim)dan farqli ravishda elektroapparatlar va elektron qurilmalarda elektromagnit maydonlar ta'sirida ishlab, faqat o'ziga xos funksiyalarni bajarishi kerak. Ba'zi elektrotexnika materiallar, masalan, dielektriklar bir vaqtda ham o'zgaruvchan, ham o'zgarmas toklarning yuqori elektr kuchlanishi ostida turishi mumkin. Bu esa materialning maxsus zo'riqqa holatda turishiga sabab bo'ladi. Agar dielektrikka qo'yilgan elektr kuchlanish uning elektr mustahkamlik chegarasidan ortib ketsa, dielektrik buziladi (teshiladi). Ba'zan dielektriklardan birining ishdan chiqishi radiokomponent (kondensator, transformator)ning va hatto, butun elektroapparatning ishdan chiqishiga sabab bo'ladi.

Ma'lumki, yuqori chastota ta'sirida ko'p materiallarda energiya isrofining ortishi yuzaga keladi. Bu energiya materialdan issiqlik tarzida ajralib chiqib, uning qizishiga sabab bo'ladi. Material noto'g'ri tanlangan bo'lsa, yuqori chastotali toklar tufayli ro'y beradigan qizish jarayoni shunchalik jadal bo'ladi, natijada, radioelektron apparaturaning elektr xarakteristikalari keskin pasayib ketishi hatto uning ayrim uzellari ishdan chiqishi mumkin. Elektronikaning hamma sohalaridagi rivojlanish yaratilayotgan elektrotexnika materiallar texnologiyasini yaxshilash va yangilarini ishlab chiqish bilan bog'liqdir. Misol sifatida bir juft o'tkazgich orqali radioaloqa signallarini uzatish mumkin bo'lgan shart-sharoitlarni ko'rib chiqamiz. Bu holda uzatuvchi kanalning o'tkazuvchanligi yuqori bo'lishi lozim. Bundan tashqari, mazkur kanal o'tkazgichlari bir-biridan va kabelning yerga ulanuvchi qobig'idan yaxshi izolatsiyalangan bo'lishi kerak. Nihoyat, uzatuvchi qurilma berayotgan signallar modulatsiyasining shakli saqlanishi kerak. Bu degan so'z, uzatuvchi kanal izolatsiyasining elektr xossalari butun uzunlik bo'yicha keng chastotalar diapazonida barqaror bo'lishi, temperatura va namlik o'zgarishi bilan o'zgarasligi lozim. Bunday murakkab talablarga yuqori chastotali dielektriklarga javob berishi mumkin. Ilgari ishlatilgan metall

magnit materiallar (po'lat, permalloy) yuqori chastotalarda o'z magnit xossalarini yo'qotar edi. Bundan tashqari, bu materiallarda energiya isrofi ortib ketadi va u normal ish rejimidan chiqishga olib keladi. Yuqori chastotali magnit maydonda ishlaydigan o'zaklar (yuqori chastotali drossellar, impulsli transformatorlar) uchun chastotalarning keng diapazonida magnit xossalarini saqlay oladigan va energiyani kam isrof qiladigan tamoman yangi magnit materiallar yaratish zarurati tug'ildi. Bunday materiallar ferritlar (kuydirilgan metall oksidlari) ekanligi aniqlandi.

Ayniqsa, elektrotexnika materiallarning elektroapparatlarni mikro-miniaturalashdagi roli kattadir. Uning maqsadi radiodetallarni zich joylashtirish bilan kichik o'lchamli elektroapparatlar yaratishdan iborat. Buni zamonaviy elektrotexnika materiallar, o'tkazgichlar, yarim o'tkazgichlar va magnetiklar yordamidagina amalga oshirish mumkin. Masalan, mikrominiaturalashni amalga oshirish, ya'ni yupqa pardali integral mikrochizmalarni tayyorlash uchun 14-tozalik sinfi bilan silliqlangan mikrokristall strukturali izolatsiyalovchi asos (taglik) talab qilinadi. Faqat shundagina asos sirtida mikrochizma, ya'ni 1 mkm dan qalin bo'lmagan o'tkazgichli, yarim o'tkazgichli va dielektrikli qatlamlar hosil qilish mumkin bo'ladi. Integral mikrochizmalar uchun mo'ljallangan hamma materiallar kimyoviy jihatdan o'ta sof va xossalari barqaror bo'lishi kerak. Muayyan bir maqsad uchun materialning elektr, mexanik, issiqlik va fizik-kimyoviy xossalari to'plamini aniq mos keltirib tanlash murakkab masaladir. Bu xossalar materialning xarakteristikalar yoki parametrlari deb ataluvchi kattaliklar orqali ifodalanadi. Masalan, elektrotexnika materiallarning mexanik xossalari mustahkamlik xarakteristikalar (egilishdagi buzuvchi kuchlanish va boshqalar) orqali aniqlanadi. Ularning son qiymatlari muayyan radiomaterialning mexanik xossalarini baholash va berilgan radiodetal yoki REA uzeli ishlab chiqarish uchun kerakli radiomaterialni to'g'ri tanlashga imkon beradi. Materiallarning elektr xossalari ularning elektr xarakteristikalar orqali aniqlanadi. Elektr va magnit xarakteristikalar bo'yicha aniqlanadigan asosiy xossalariga ko'ra elektrotexnika materiallarni to'rt asosiy guruhga ajratish mumkin: o'tkazgichlar, yarim o'tkazgichlar, dielektriklar, magnit materiallar.

O'tkazgichlar—tarkibida erkin elektronlar soni juda ko'p bo'lishi sababli elektr o'tkazuvchanligi katta bo'lgan metall materiallar.

Yarim o'tkazgichlar—o'tkazgichlarga nisbatan erkin elektronlari ancha kamligi sababli elektr o'tkazuvchanligi kichikroq materiallar. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi isitilganda, yoritilganda, elektr maydon kuchlanganligi ortganda va boshqa hollarda keskin ortadi.

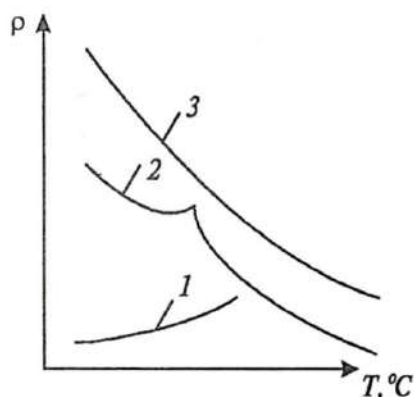
Dielektriklar—erkin zaryadli zarrachalari (elektronlar va ionlar) juda kamligi uchun elektr o'tkazuvchanligi nihoyatda kichik materiallar. Dielektriklardagi zaryadli zarralar soni ularga yuqori kuchlanish (oshirilgan kuchlanish) qo'yilgandagina ortadi. Dielektriklar gaz holdagi, suyuq (moylar) va qattiq dielektriklarga farqlanadi. Dielektriklar aksariyat hollarda REA da o'tkazgich elementlari orasida, shuningdek, yarim o'tkazgich elementlari va yerga ulanadigan metall qismlar orasida izolatsiya sifatida ishlatiladi. Dielektriklarning bu guruhi *passiv dielektriklar* deb ataladi. Yana *aktiv dielektriklar* guruhi ham mavjudki, ularning xossalari o'ziga qo'yilgan elektr kuchlanish, temperatura, bosim va boshqalarga kuchli bog'liq bo'ladi.

Magnit materiallar—tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlanish xususiyatiga, ya'ni tuzilishi jihatidan magnit xossalarga ega bo'luvchi materiallardir. Magnit materiallar magnit energiyani to'play oladi. Magnit materiallarga ba'zi metallar, ularning qotishmalari, shuningdek, metall material hisoblanmaydigan ferritlar kiradi.

1.2. Elektr xarakteristikalar

Har bir elektromaterial o'zining elektr xossalari ega. Chunonchi, barcha elektrotexnika materiallar elektr o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni elektr tokini o'tkazadi. Elektrotexnika materiallarning elektr xossalarini baholash uchun ularning elektr xarakteristikalaridan foydalaniladi.

Solishtirma elektr qarshilik (ρ) elektromaterialning elektr o'tkazuvchanligini baholash uchun qo'llanadigan elektr xarakteristika-dir. Bu kattalik metrga $\text{Om} \cdot \text{m}$ lar ($\text{Om} \cdot \text{m}$) da ifodalanadi. Radio-elektronikada undan kichikroq birlik ($\text{Om} \cdot \text{sm}$) dan ham foydalaniladi. Metall o'tkazgich materiallar (mis, aluminiy va b.) ning elektr o'tkazuvchanligini baholash uchun solishtirma elektr qarshilikning yanada kichikroq birligi—metrga mikroom ($\text{mOm} \cdot \text{m}$) qo'llanadi. Bu birliklar orasidagi munosabat: $\text{Om} \cdot \text{sm} = 10000 \text{ mOm} \cdot \text{m} = 0,01 \text{ Om} \cdot \text{m}$ dir. Istalgan radiomaterialning solishtirma elektr qarshiligi temperaturaga chambarchas bog'liqdir (1-rasm). Shuning uchun temperatura ko'tarilsa, o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi ham ortadi. Bunga temperatura ortganda o'tkazgichning kristall panjarasi tugunlaridagi atomlarning tebranish jadalligi ortib, uning erkin elektronlarning tartibli ko'chishiga xalaqit berishi sabab bo'ladi. Shu tufayli metall o'tkazgichlarning umumiy va solishtirma elektr qarshiliklari ortadi. Yarim o'tkazgichlar va dielektriklarda esa, aksincha, temperatura ortishi bilan umumiy va solishtirma elektr qarshiliklari kamayadi. Bunga sabab, ulardagi elektr zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining ortishidir.



1-rasm. Materiallar solishtirma elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligi:

1—o'tkazgich; 2—yarim o'ztkazgichlar;
3—dielektriklar.

Solishtirma qarshilikning temperatura koeffitsiyenti (TK_r)—materialning solishtirma elektr qarshiligi temperaturaga bog'liq holda o'zgarishini hisobga olishga yordam beradigan kattalik. Solishtirma elektr qarshilik chiziqli o'zgarganda (buni temperatura o'zgarishining kichik oralig'ida kuzatiladi) TK_r ni quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$TK_r = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_2(T_2 - T_1)}$$

bunda ρ_1 va ρ_2 materialning boshlang'ich T_1 va oxirgi T_2

temperaturalardagi solishtirma qarshiliklari.

O'tkazgichlarda temperatura ortishi bilan solishtirma qarshilik ham ortadi, ya'ni $TK_r > 0$ —musbat kattalik, yarim o'tkazgichlar va dielektriklarda temperatura ortishi bilan solishtirma qarshilik kamayadi, ya'ni $TK_r < 0$ —manfiy kattalik.

Yozuvni qisqartirish maqsadida TK_r ni α harfi bilan almashtiramiz. Materialning T_1 temperaturadagi solishtirma elektr qarshiligi ρ_1 ($\text{Om}\cdot\text{m}$) ma'lum bo'lsa, uning T_2 temperaturadagi solishtirma qarshiligi ρ_2 ni quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)].$$

Barcha elektrotexnika materiallarni elektr o'tkazuvchanligi bo'yicha uchta asosiy guruhga bo'lish mumkin:

- o'tkazgichlar: $\rho = 10^{-8} \div 10^{-5} \text{ Om}\cdot\text{m}$, $TK_r > 0$;
- yarim o'tkazgichlar: $\rho = 10^{-6} \div 10^7 \text{ Om}\cdot\text{m}$, $TK_r < 0$;
- dielektriklar $\rho = 10^7 \div 10^{18} \text{ Om}\cdot\text{m}$, $TK_r < 0$.

Solishtirma qarshiliklarning keltirilgan qiymatlari shuni ko'rsatadiki, dielektriklar eng kichik, o'tkazgichlar esa eng katta elektr o'tkazuvchanlikka ega. Qattiq dielektriklar hajmiy I_v va yuza I_s elektr o'tkazuvchanlik toklariga ega (2-rasm), shu sababli ularning solishtirma hajmiy ρ_v va yuza ρ_s qarshiliklari aniqlanadi. Solishtirma yuza qarshiligi ham umumiy qarshilik kabi Om larda ifodalanadi. Solishtirma hajmiy

qarshilik dielektrikning o'z hajmi orqali, solishtirma yuza qarshiligi esa o'z sirtidan tok o'tkazish xossasini ifodalaydi.

Dielektriklarda $\rho_v = 10^7 \div 10^{18}$ Om·m; $\rho_s = 10^9 \div 10^{16}$ Om bo'ladi.

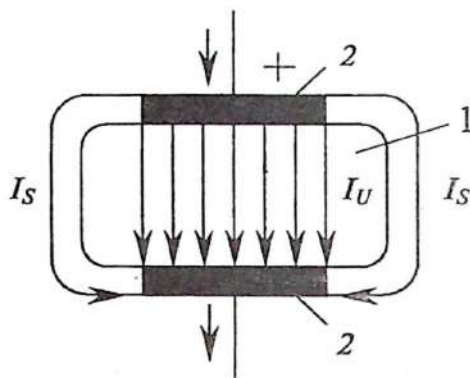
O'tkazgichlar va yarim o'tkazgichlar tokni yaxshi o'tkazishi tufayli hajmiy va yuza elektr o'tkazuvchanlikni ajratib bo'lmaydi, shuning uchun ularda umumiy solishtirma qarshilik ρ ni aniqlanadi.

Solishtirma o'tkazuvchanlik γ (sm/m)—solishtirma qarshilik-ka teskari kattalik: $\gamma = 1/\rho$. Qattiq dielektriklarda solishtirma hajmiy o'tkazuvchanlik $\gamma = 1/\rho_v$ (sm/m, Om⁻¹·m⁻¹) va solishtirma yuza o'tkazuvchanlik $\gamma_s = 1/\rho_s$ (sm) lar bo'ladi.

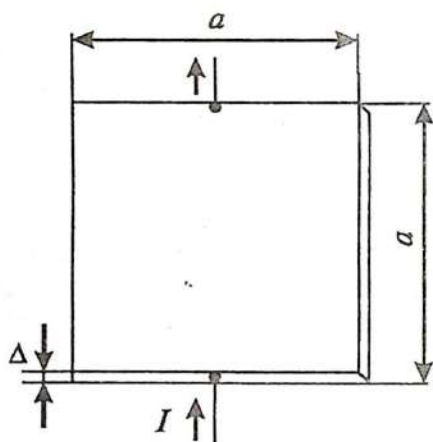
Elektromaterialning elektr o'tkazuvchanlik darajasi solishtirma o'tkazuvchanlik bilan xarakterlanadi. Masalan, o'tkazgichlarda $\gamma = 10^5 \div 10^8$ sm/m, yarim o'tkazgichlarda esa $\gamma = 10^5 \div 10^{-7}$ sm/m tarzda bo'ladi. Qattiq dielektriklarning solishtirma hajmiy va yuza o'tkazuvchanliklari juda kichik: $\gamma_v = 10^{-7} \div 10^{-18}$ sm/m; $\gamma_s = 10^{-8} \div 10^{-16}$ sm. Bu xususiyat ulardan elektron qurilmalarning turli elektr potensiallar ostida bo'ladigan qismlarini izolatsiyalash uchun foydalanish imkonini beradi.

Yupqa plyonkalar (dielektriklar, yarim o'tkazgichlar va b.) ning, masalan, yupqa plyonkali integral mikrochizmalarda plyonkalar qarshiligini baholash uchun plyonka qarshiligi R_p (Om/m) ning mazkur plyonka sirtining kvadratiga nisbatidan (3-rasm) foydalaniladi: $R_p = \rho \alpha / \Delta \alpha = \rho / \Delta$.

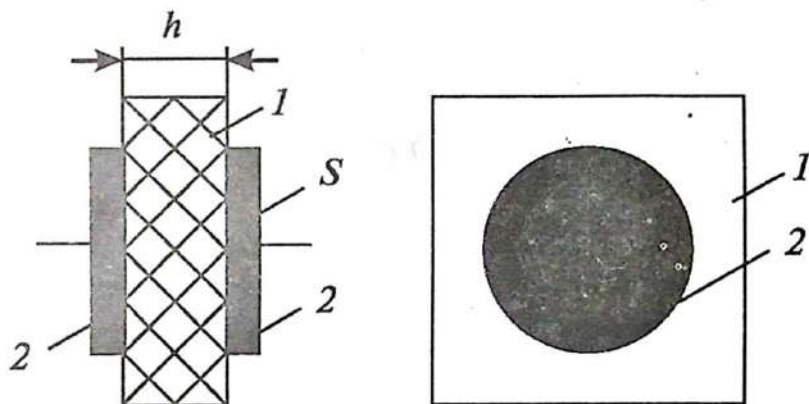
Mana shu ifodadan R_p plyonka materialining solishtirma elektr qarshiligi ρ ga va qalinligi Δ ga bog'liqligi kelib chiqadi. Plyonkaning



2-rasm. Dielektrikda hajmiy va yuza elektr o'tkazuvchanlik toklari: 1—dielektrik; 2—elektrodlar.



3-rasm. Yupqa plyonkalar elektr qarshiligining o'zgarishi.



4-rasm. Yassi kondensatorlar:
1—qattiq dielektrik; 2—metall elektrodlar.

qalinligi bevosita o'lchash qiyin bo'ladigan ko'p hollarda R_p ning elektr xarakteristikasi (parametr) dan foydalaniladi.

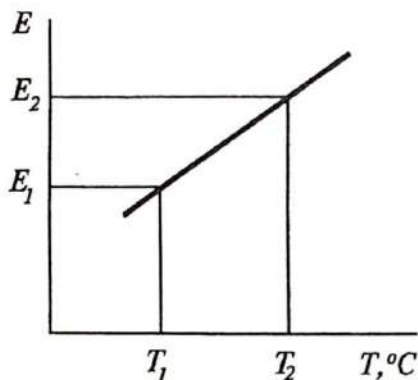
Dielektrik singdiruvchanlik ϵ_r (nisbiy dielektrik singdiruvchanlik) dielektrik yoki yarim o'tkazgichning elektr sig'im hosil qilish xususiyatini ifodalaydi. O'lchamlara ma'lum yassi kondensator (4-rasm) ning sig'imi S (F) undagi dielektrikning dielektrik singdiruvchanligiga to'g'ri proporsional: $S = \epsilon_a S/h$, bunda ϵ_a -absolut dielektrik singdiruvchanlik, F/m, 5-bitta metall qoplamaning yuzi, m^2 , h -dielektrik qatlamning qalinligi, m; $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r$, bunda $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ -elektr doimiysi, F/m, ϵ_r -nisbiy dielektrik singdiruvchanlik (o'lchamsiz kattalik). Vakuumning dielektrik singdiruvchanligi eng kichik ($\epsilon_r = 1$), suyuq va qattiq dielektrlarniki ($\epsilon_r \approx 2 \div 17$); havoning dielektrik singdiruvchanligi esa $\epsilon_r = 1,00058$.

Segnetoelektriklar deb ataluvchi ba'zi qattiq (aktiv) dielektrlarning xona temperaturasidagi dielektrik singdiruvchanligi juda katta qiymatga yetadi ($\epsilon_r = 1500 \div 7500$). Bu xususiyat ulardan foydalanib juda kichik o'lchamli kondensatorlarni tayyorlash imkonini beradi.

Dielektrik singdiruvchanlikning temperatura koeffitsiyenti $TK \epsilon_r (K^{-1})$ elektrotexnika materiallarning dielektrik singdiruvchanligi ϵ_r ning temperaturaga ko'ra o'zgarishini ifodalaydi (5-rasm).

$$TK \epsilon_r = \frac{(\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2})}{\epsilon_{r1}(T_2 - T_1)}$$

bunda, ε_{r1} va ε_{r2} — materialning boshlang'ich T_1 va oxirgi T_2 temperaturadagi dielektrik singdiruvchanliklari. Dielektrik singdiruvchanlikning temperatura koeffitsiyenti musbat yoki manfiy qiymatga ega bo'lib, mos ravishda mazkur dielektrikning singdiruvchanligi ortishini yoki kamayishini (temperatura ortganda) ko'rsatadi.



5-rasm. Dielektrik singdiruvchanlikning temperaturaga bog'liqligi: ($TK_e > 0$).

Dielektrik isroflarning burchak tangensi $\tan \delta$ o'zgaruvchan elektr maydonda ishlatilayotgan dielektrikda

sochiluvchi aktiv energiya isrofini xarakterlaydi. Elektrotexnikadan ma'lumki, agar o'tkazgichga bir gal o'zgarmas kuchlanish, keyin o'zgaruvchan kuchlanish (bunda o'zgaruvchan kuchlanishning haqiqiy qiymati o'zgarmas kuchlanish qiymatiga teng) ulansa, ikkala holda isrof bo'ladigan quvvat (V_t) o'zaro teng $R=R_+$ bo'ladi.

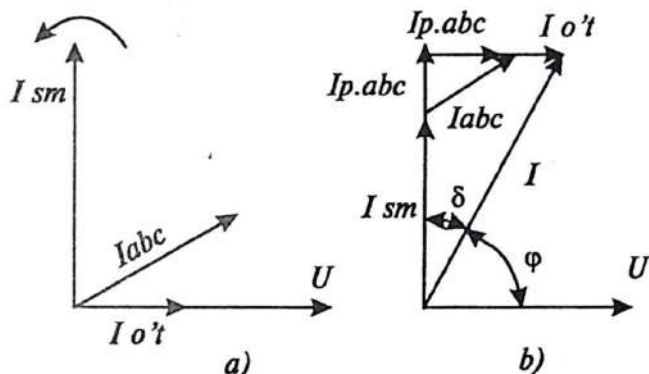
Agar dielektrikka bir gal o'zgarmas kuchlanish, keyin o'zgaruvchan kuchlanish ulansa, o'zgaruvchan kuchlanish ulangan dielektrikdagi quvvat isrofi o'zgaruvchan kuchlanish ulangan dielektrikdagidan ancha katta bo'ladi: $R > R_+$.

Energiya isroflaridagi farq faqat dielektrlarda kuzatiladi. O'zgaruvchan yoki o'zgarmas elektr maydonlarda ishlatiladigan dielektrlarda kuzatiladigan quvvat isroflari dielektrik isroflar deb ataladi.

O'zgarmas kuchlanish ulangan dielektrikda faqat aktiv tok o'tkazuvchanlik toki I_{o1} oqadi. Bu holda dielektrikda isrof bo'ladigan aktiv quvvat (V_t) quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = UI_{o1}$$

O'zgaruvchan kuchlanish ostida ishlaydigan dielektrikdan faza (vaqt) bo'yicha siljigan uch xil tok: siljish toki I_s , absorpsiya toki I_{abs} va o'tkazuvchanlik toki I_{o1} o'tadi. Elektrotexnikada dielektrikka qo'yilgan tok va kuchlanish vektor diagrammada ko'rsatiladi (6-a, rasm). Diagrammada kuchlanish gorizontal joylashgan U vektor ko'rinishida tasvirlangan. Siljish



6-rasm. Dielektrikda toklarning
diagrammasi:
a—toklarni vektor ko'rinishida tasvirlash;
b—toklarni dielektrikka qo'yish.

toki I_s kuchlanishdan $1/4$ davr (90°) ilgari yuradi, shuning uchun u kuchlanish vektoriga tik joylashgan vektor ko'rinishida tasvirlangan. Absorbsiya toki I_{abs} ham kuchlanishdan ilgari yuradi, biroq bu ilgarilanish 90° dan kam bo'ladi, o'tkazuvchanlik toki $I_{o't}$ esa vaqt (faza) bo'yicha kuchlanish bilan mos tushadi. Vektorlarni geometrik qo'shish qoidasidan foydalanib, dielektrikdagi umumiy tok I_{ni} topamiz. Buning uchun absorbsiya tokning vektori I_{abs} ni o'ziga parallel ko'chiramiz va uni siljish toki I_s ga qo'shamiz (6-b, rasm). So'ngra o'tkazuvchanlik toki vektori $I_{o't}$ ni xuddi shunday usulda ko'chirib, absorbsiya toki vektori I_{abc} ga qo'shamiz. Hamma toklarni qo'shish natijasida dielektrikda tu-tashtiruvchi vektor ko'rinishidagi umumiy tok I ni hosil qilamiz. Kuchlanish vektori U bilan umumiy tok vektori I orasidagi burchak φ bilan belgilanadi va u fazalarning siljish burchagi deb ataladi. φ burchakni 90° gacha to'ldiruvchi burchak, ya'ni umumiy tok vektori I bilan siljish toki vektori, I_s orasidagi burchak δ bilan belgilanadi va dielektrik isroflar burchagi deb ataladi.

Vektor diagrammadan foydalanib, absorbsiya toki I_{abs} ni aktiv $I_{a.abs}$ va reaktiv $I_{r.abs}$ tashkil etuvchilarga ajratamiz.

O'tkazuvchanlik toki $I_{o't}$ bilan absorbsiya tokining aktiv tashkil etuvchisi $I_{a.abs}$ ning yig'indisi dielektrikdagi umumiy tok Ening aktiv tashkil etuvchisi I_a bo'ladi, ya'ni

$$I_a = I_{o't} + I_{a.abs}.$$

Siljish toki I_s bilan absorbsiya tokining reaktiv tashkil etuvchisi $I_{r,abs}$ ning yig'indisi umumiy tok I ning reaktiv tashkil etuvchisi I_r bo'ladi, ya'ni:

$$I_r = I_s + I_{r,abs}$$

Efektrotexnikadan ma'lumki, dielektrik (kondensator)da sochiladigan aktiv quvvat (V_t) kondensatorga qo'yilgan kuchlanishning aktiv toklar yig'indisiga ko'paytirilganiga teng:

$$R_a = UI_a \quad (1)$$

Kondensatorning reaktiv quvvati $R_r (V \cdot A)$ qo'yilgan kuchlanishning reaktiv toklar yig'indisiga ko'paytirilganiga teng: $R_r = UI_r$.

Toklarning vektor diagrammasidan (6-b rasm) toklar nisbati $I_a/I_b = \operatorname{tg} \delta$ ekanini topamiz. Bu nisbatdan dielektrikdagi aktiv tok $I_a (A)$ quyidagiga tengligi kelib chiqadi:

$$I_a = I_b \operatorname{tg} \delta. \quad (2)$$

Reaktiv tok $I_r (A)$ quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$I_r = U \omega C, \quad (3)$$

bunda, $\omega = 2\pi f$ —burchak chastota, rad/s; f —o'zgaruvchan tok chastotasi, Γu .

Reaktiv tok qiymati (3) ni formula (2) ga qo'yib, aktiv tok uchun yangi ifodani hosil qilamiz: $I_a = U \omega C \operatorname{tg} \delta$.

Bu ifodani dielektrikda sochiladigan aktiv quvvat $R_a (Vt)$ ni hisoblash formulasi (1) ga qo'yib,

$$R_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (4)$$

yoki

$$R_a = U^2 2\pi f C \operatorname{tg} \delta \quad (5)$$

ni hosil qilamiz, bunda U —o'zgaruvchan kuchlanishning haqiqiy qiymati, V , ω —burchak chastota, rad/s, C —kondensatorning sig'imi, F , $\operatorname{tg} \delta$ —o'zgaruvchan tok chastotasi, Γu (4) va (5) formulalardan ko'rinadiki, dielektrikdagi kuchlanish U , chastota f va sig'im C ma'lum bo'lsa, undagi (izolatsiyadagi) aktiv energiya isroflari $\operatorname{tg} \delta$ ga bog'liq bo'ladi, bu kattalik o'zgaruvchan kuchlanish ostida ishlayotgan dielektrikdagi aktiv quvvat isrofini belgilaydi. Izolatsiyada quvvat, ayniqsa, katta chastotalarda ko'p isrof bo'ladi. Shuning uchun REAda qo'llanadigan dielektriklar uchun



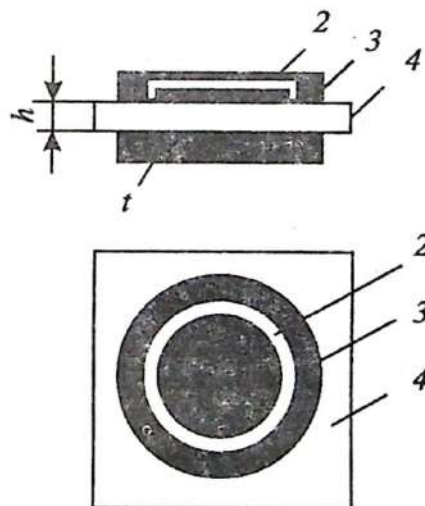
$\text{tg}\delta$ ning joiz qiymatlari yuqori chastotali dielektriklar uchun davlat standartlarida keltiriladi.

Gaz holatdagi dielektriklarda (gazlarda) $\text{tg}\delta$ eng kichik: $\text{tg}\delta=20^{-6}\div 10^{-5}$ bo'ladi. REA ning yuqori chastotali qismlarida ishlatiladigan qattiq dielektriklar uchun $\text{tg}\delta=(2\div 5)\cdot 10^{-4}$; keng qo'llanadigan dielektriklar uchun $\text{tg}\delta=(2\div 5)\cdot 10^{-3}$.

Gaz holatdagi dielektriklarda (gazlarda) $\text{tg}\delta$ eng kichik: $\text{tg}\delta=20^{-6}\div 10^{-5}$ bo'ladi. REA ning yuqori chastotali qismlarida ishlatiladigan qattiq dielektriklar uchun $\text{tg}\delta=(2\div 5)\cdot 10^{-4}$; keng qo'llanadigan dielektriklar uchun $\text{tg}\delta=(2\div 5)\cdot 10^{-3}$.

$\text{tg}\delta$ ning qiymati qancha kichik bo'lsa, dielektrikning sifati shuncha yaxshi bo'ladi, chunki unda energiya kam isrof bo'ladi. Energiyaning aktiv isroflari katta bo'lsa, dielektrik ko'p qiziydi va ishdan chiqishi tezlashadi. $\text{tg}\delta$ ning temperaturaga va qo'yilgan kuchlanish chastotasiga bog'liqligini dielektriklarning qutblanishi va elektr o'tkazuvchanligi jarayonlarini ko'rilayotganda aniqlashtiramiz.

Dielektriklarning solishtirma hajmiy va yuza elektr qarshiliklari, dielektrik singdiruvchanligi va $\text{tg}\delta$ tekshiriladigan dielektriklardan olingan namunalarda o'lchanadi. Qattiq dielektriklarning namunalari doira yoki



7-rasm. Uchta metall elektrodli qattiq dielektrikning namunasi: 1, 2, 3—pastki, markaziy va halqa elektrodlar; 4—dielektrik.

kvadrat shaklidagi plastinadan iborat bo'ladi. Kvadrat plastinaning tomonlarini 50 mm yoki diametrini 100 mm, uning qalinligini $0,01\div 5$ mm va undan ko'proq qilib tanlanadi. Qattiq dielektrik plastinalariga disk yoki halqa shaklidagi elektrodlar o'rnatiladi (7-rasm). Yuqorida aytilgan xarakteristikalarni o'lchash uchun tekshirilayotgan namunalarni elektrodlar va ularga ulangan o'tkazgichlar orqali elektr o'lchov asboblari ulash mumkin. *Elektr mustahkamlik* E_{mus} —elektr maydon kuchlanganligining dielektrik yoki yarim o'tkazgich teshilishi boshlanadigan qiymati.

Dielektriklarning elektr mustahkamligi hamma nuqtalarda kuchlanganlik E baravar bir jinsli

elektr maydonga joylashtirilgan muay-yan o'lchamli namunalarda o'lchanadi (8-rasm). Buning uchun tekshirilayotgan dielektrik 2 ning namunalari va unga o'rnatiladigan elektrodlar 1 ning muvofiq shakllari tanlanadi.

Dielektrikning elektr mustahkamligi E_{mus} (V/m) bir jinsli maydon uchun

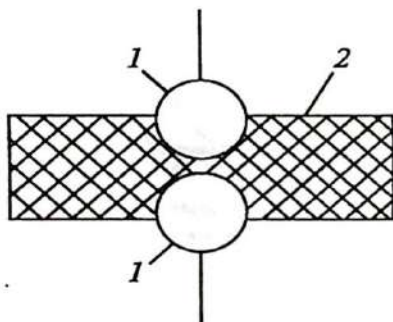
$E_{mus} = U_{mus}/h$ formula bo'yicha hisoblanadi, bunda U_{mus} — dielektrik teshilgan kuchlanish, V , h — dielektrik namunaning teshilish ro'y bergan joydagi qalinligi, m .

Namunadagi teshilish ro'y bergan joyning qalinligi (sferik elektrodlar oraliq'i) 1—2 mm ni tashkil etadi. Agar qalinligi 2 mm dan ortiq dielektrikni teshilish ro'y bergungacha olib borilsa, huddi shu materialning elektr mustahkamligi undan kichik bo'ladi. Bunga sabab shuki, dielektrikning qalinligi ortgan sari teshilish ro'y beradigan joyda issiqlik tarqalishi kamayadi, nuqsonlar ortadi, elektr maydon notekis bo'lib qoladi. Materiallarning elektr mustahkamligi haqidagi barcha zarur ma'lumotlar bir tekis elektr maydon-da 1—2 mm qalinlikdagi dielektrik namunalarni teshilishga sinash asosida keltiriladi.

Dielektriklar elektr mustahkamligining son qiymatlari juda katta (materialning 1 m

qalinligiga bir necha million volt). Bunday ulkan raqamlarni yozmaslik uchun kuchlanishni megavolt (MV), dielektrikning qalinligini metr (m) ko'rinishida yozish qabul qilingan.

1000 V dan yuqori kuchlanish ostida ishlaydigan elektroapparatlarning uzellarida qo'llanadigan dielektriklar uchun mustahkamlik juda muhim xarakteristika hisoblanadi. Masalan, ikkita dielektrik olaylik. Birinchisida $E_{mus} = 15$ MV/m, ikkinchisida $E_{mus} = 30$ MV/m.



8-rasm. Elektr mustahkamlikni aniqlash uchun sferik elektrodli qattiq dielektrikning namunasi:

1—sferik metall elektrodlar; 2—dielektrik.

Ravshanki, boshqa xarakteristikalar (ρ_v , ρ_s , ϵ_r va $\operatorname{tg}\delta$) bir xil bo'lsa, ikkinchi dielektrikni tanlash kerak, chunki uning elektr mustahkamligi birinchi dielektriknikidan ikki marta katta.

1.3. Mexanik xarakteristikalar

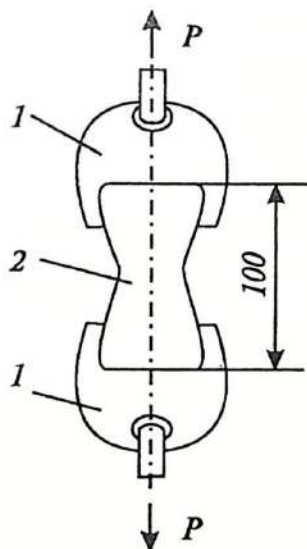
Elektrotexnika materiallar sifatini to'la baholash uchun ularning elektr xarakteristikalarinigina emas, balki mexanik mustahkamligini belgilovchi mexanik xarakteristikalarini ham bilish lozim.

Cho'zilishdagi buzuvchi kuchlanish σ_b (Pa)* ni $\sigma_b = R_b/S_0$ formula bilan hisoblab topiladi, bunda R_b —material namunasini cho'zilishi (uzilishi)dagi buzuvchi zo'riqish, N; S_0 —material namunasining buzilmasdan oldingi ko'ndalang kesim yuzi, m^2 .

Chuzilishdagi nisbiy uzayish $\epsilon_r(\%)$ ni $l_r = (l_r - l_0) \cdot$

$100/l_0$ formula bilan hisoblab topiladi, bunda l_0 va l_r — material namunasining cho'zilishgacha va cho'zilishdan keyin uzunliklari, m. Materialning cho'zilishdagi nisbiy uzayishi uning cho'ziluvchanligi va plastikligini baholashga imkon beradi. Masalan, rezinada $\epsilon_r = 250 \div 300 \%$, metall o'tkazgichlarda $\epsilon_r = 15 \div 50 \%$, plastmassalarda $\epsilon_r = 2 \div 5 \%$ ni tashkil etadi.

σ_b va ϵ_r ni o'lchash uchun materiallarning ma'lum o'lcham va shakldagi namunalardan foydalaniladi. 9-rasmda cho'zilish uchun sinaladigan radiokeramik material (ultrachinni, steatit va h.) ning sinash mashinasidagi po'lat qisqichlar 1 ga mahkamlanadigan namunasi 2 ko'rsatilgan. Boshqa materiallarni sinashda boshqacha shakldagi namunalardan foyda-



9-rasm. Cho'zilishdagi buzuvchi kuchlanishni aniqlash uchun mashinaning po'lat qismlari orasiga joylashtirilgan radiokeramik dielektrikning namunasi:
1—po'lat qismlar; 2—namuna.

Agar kristallik materialning erish temperaturasi yoki amorf materialning yumshash temperaturasi 55°C ga teng bo'lsa, uni radioapparatlarda ishlatish mumkin emas, chunki, u yerda material bundan yuqori temperatura ostida bo'lishi mumkin.

Temperaturali kengayish koeffitsiyenti TKK material temperaturasi T_0 dan T_1 (K^{-1}) gacha o'zgarganda uning dastlabki uzunligi o'zgarishini ifodalaydi va quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\text{TKK} = (l_1 - l_0) / [l_0(T_1 - T_0)],$$

bunda, l_0 va l_1 materialning dastlabki T_0 va oxirgi T_1 , temperaturadagi uzunliklari.

TKK katta amaliy ahamiyatga ega, masalan, u elektroapparat uzellarini germetiklashda muhim rol o'ynaydi. Shuning uchun TKKlari bir-biridan keskin farq qiluvchi ikki detalni bir-biriga ulash mumkin emas. Kvars shishaning TKK eng kichik ($5,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) simobniki eng katta ($182 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) shuningdek, ba'zi polimer dielektriklarda, masalan, polietilenda $145 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ va polivinilxloridda $160 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ materialning issiqroq sirtidan sovuqroq sirtiga issiqlik o'tkazish xususiyatini baholash imkonini beradi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ($\text{Vt}/\text{Sm} \cdot \text{K}$) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\lambda = Ph / [S(T_2 - T_1)t],$$

bunda, R —mazkur materialning h qalinlikdagi devorchasining sirti S , m^2 orqali τ , s vaqtida o'tadigan issiqlik oqimining quvvati; $(T_2 - T_1)$ material namunasi sirtlari temperaturalarining farqi.

Metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi eng katta— $[68 \div 415 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})]$, qattiq organik moddalarniki ancha kichik— $[0,09 \div 0,35 \text{ Vt}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ekani ma'lum.

Issiqbardoshlik—organik polimer dielektriklarning issiqlik xarakteristikasi. U namunaga mexanik yuklanish berilgan paytda uning qisqa muddatli qizishga chidamliligini baholashga imkon beradi.

Qizishga chidamlilik — dielektriklarning mexanik, elektrik va boshqa xususiyatlarini o'zgartirmay chegaraviy joiz temperaturada ham uzoq muddat ishlay olishini belgilovchi xarakteristikasidir. Elektr izolatsion materiallar qizishga chidamliligining yettita darajasi belgilangan (1-jadval).

Sovuqqa chidamlilik—materiallarning past temperaturalarga chidamliligini baholash imkonini beruvchi xarakteristikasi. Ko'p polimer dielektriklar, rezina va boshqalarning past temperaturalarga chidamliligi kichikdir. Bu

Ochiq havoda ishlatiladigan elektr izolatsion materiallarning qizishga chidamlilik darajalari

1-jadval

Qizishga chidamlilik darajasi	Chegaraviy temperatura °C	Qizishga chidamlilikning mazkur darajasiga kiruvchi dielektrlarniig taxminiy ro'yxati
Y	90	Polistirol, polietilen, qog'oz, karton, ip gazlamalar
A	105	Getinaks, tekstolit, lok shimdirilgan ipak va ip gazlamalar
E	120	Lavsan plyonkalar, moyli lok shimdirilgan shisha tolali gazlamalar, noorganik qo'shilmali plastmassalar
B	130	Qizishga chidamli noorganik qo'shilmali plastmassalar
F	155	Sluda, asbest yoki shisha tolalar qo'shilgan poliuretan, epoksid asosli plastmassalar
H	180	Kremniy-organik dielektrlar
G	180 dan yuqori	Sluda, radiokeramik materiallar, ftoroplast-4, polimidlar

materiallar past (-60°C va undan past) temperaturagacha soviganida mexanik mustahkamligini yo'qotadi va yorilib ketadi. Shu sababli dielektrlarning sovuqqa chidamliligi ko'proq mexanik mustahkamligining pasayish darajasi orqali aniqlanadi.

1.5. Fizik-kimyoviy xarakteristikalar

Nam yutuvchanlik ω —nam havodagi materialning nam yutish xususiyati. Dielektrik plastinasining nam yutuvchanligini aniqlash uchun uni avval tarozida tortib, so'ngra 20°C temperaturali nam havoga qo'yiladi; 24, 48 soatdan keyin namunani qaytadan tortib ko'riladi. Nam yutuvchanlik (massaga nisbatan % da) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\omega = (G_2 - G_1) \cdot 100 / G_1, \quad (6)$$

bunda, G_1 —material namunasining dastlabki holatdagi massasi, g; G_2 —namunaning nam havoda 24, 48 soat turganidan keyingi massasi g. Ba'zida materialning nam yutuvchanligi (g/dm^2) boshqa formula $\omega = (G_2 - G_1) / F$ bilan hisoblanadi, bunda G_1 va G_2 lar (6) formuladagi kattaliklarning o'zi; F —material namunasining sirti, dm^2 .

Tropik chidamlilik — elektrotexnika materiallarning tropik iqlimli mamlakatlar (Hindiston, Birma va b.)da atmosfera ta'sirlariga chidamliligi. Nam tropik iqlim sharoitlarida himoyalangan elektrotexnika materiallarga quyidagilar ta'sir ko'rsatishi mumkin: havoning yuqori temperaturasi ($45-55^{\circ}\text{C}$); temperaturaning kun davomida keskin o'zgarishi; havo namligining yuqori ($80-95\%$) bo'lishi; Quyosh radiatsiyasi (yorug'lik va issiqlik oqimi zichligining kattaligi); tuz va chang zarralari mavjud havo; organik materiallarni yemiruvchi mog'or zamburug'lari (o'simlik mikroorganizmlari); ochiq elektron qurilmadagi organik dielektriklarni yemiruvchi hasharotlar.

Mana shu omillar polimer dielektriklar, plastmassalar va hatto metall detallarning yemirilishiga sabab bo'ladi.

Tropik iqlimga eng chidamli materiallar asli noorganik moddalardan iborat—radiokeramika, sitallar va ba'zi polimer (kremniy—organik, fluororganik dielektriklardir.

Elektrotexnika materiallarning tropik chidamliligi turli usullar: yuqori temperatura, namlik, sun'iy quyosh radiatsiyasi va mog'or zamburug'i (bir vaqtda) bilan aniqlanadi. U yoki bu radiomaterialning tropik chidamliligi uning dastlabki mexanik va elektr xarakteristikalarining yomonlashish darajasiga qarab belgilanadi.

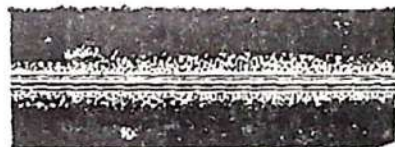
Radiatsiyaga chidamlilik— α , β va γ hamda neytronlar oqimi kabi ionlovchi nurlanishlar ta'siriga chidamlilikni baholashga imkon beruvchi xarakteristika. Ionlovchi nurlanishlar asli organik va noorganik dielektriklar, shuningdek, yarim o'tkazgichlar va o'tkazgichlarning strukturasini o'zgartiradi. Natijada, ularning dastlabki xossalari va xarakteristikalari o'zgaradi. Ionlovchi nurlanish, ayniqsa organik dielektriklarga kuchli ta'sir etadi, hatto, ularning yemirilishiga ham olib keladi. Biroq ba'zi organik dielektriklar (polietilen, propilen)ga oz miqdorda nurlanish ta'sir etsa, ularning strukturasini va asosiy xarakteristikalari yaxshilanadi. Uchish apparatlari (raketalar, kosmik kemalar)ga o'rnatiladigan elektron qurilmalarning uzellari kuchli nurlanishga duch keladi.

Radiomaterialning mana shunday nurlanishga radiatsion chidamliligi material namunalarini turli jadallikda uzoq vaqt nurlantirib sinash bilan aniqlanadi. Materialga nurlanishning ta'sir etish darajasi massaning kamayishi, mexanik va elektr xarakteristikalarining o'zgarishiga qarab belgilanadi.

II bob. ELEKTR IZOLATSION MATERIALLAR

2.1 Gazsimon dielektriklar

Gazsimon dielektriklarga barcha gazlar va gazlar bilan suv bug'ining aralashmasidan iborat havo kiradi. Ko'pchilik gazlar gaz to'ldirilgan kondensatorlarda, havoli yuqori kuchlanishli vikluchatellarda va boshqa elektrotexnika qurilmalarida dielektriklar sifatida ishlatiladi. Havo barcha elektr qurilmalarni o'rab turadi va dielektrik sifatida ko'p jihatdan ularning ishonchli ishlashini ta'minlaydi. Machtalarga chinni yoki shisha izolatorlar yordamida mahkamlangan yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarining simlari boshidan oxirigacha bir-biridan faqat havo qatlami bilan izolatsiyalangan bo'ladi. Yuqori kuchlanishli simlar sirtiga bevosita tegib



II-rasm. Havoda ochiq sim
atrofidagi elektr toj.

turgan havo qatlamida ba'zan binafsha rangli yorug'lanish elektr toj kuzatiladi, u o'ziga xos tovush chiqarib turadi (II-rasm). Elektr toj havoning elektr izolatsion xossalari yomonlashganda yoki havoga juda yuqori kuchlanish ta'sir etganda paydo bo'ladi. Bu hodisa jarayonida energiya isrof bo'ladi, shu sababli unga qarshi ko'rashish kerak.

Qattiq izolatsiya ichiga kirib qolgan gaz (havo pufakchalari) ayniqsa, noqulay ish sharoitida bo'ladi. Ketma-ket tutashgan izolatsiya qatlamlarida elektr maydon kuchlanganligi ularning dielektrik singdiruvchanligiga teskari proporsional ravishda taqsimlanadi, ya'ni

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (7)$$

Ko'pchilik gazlarda dielektrik singdiruvchanlik (ϵ_1) birdan salgina katta (2-jadval), qattiq dielektriklarda esa (ϵ_2), uning qiymati 2 dan 8 gacha va undan ham katta bo'ladi. Shu sababli qattiq izolatsiya ichiga kirib qolgan gazlar qattiq izolatsiyadagi kuchlanganlikka qaraganda 2—8 marta katta

Gazsimon dielektriklarning asosiy xarakteristiklari

2-jadval

Dielektrik	Zichligi g/sm ³	Dielektrik singdi- ruchchanligi	Elektr mustahkamligi, MV/m	Issqlik o'tkazish koeffitsiyenti*	Issqlik sig'imi*
Havo	1,0	1,00057	3,0	1,0	1,0
Azot	0,97	1,00058	3,0	1,08	1,05
Vodorod	0,69	1,00026	1,8	6,69	14,35
Karbonat angidrid	1,529	1,00098	2,7	0,64	0,85
Elegaz**	5,03	1,00191	7,2	1,25	0,60

kuchlanganlik ta'sirida bo'ladi. Bu kuchlanganlikka kirib qolgan gazni ionlashtirishi, ya'ni unda ko'p miqdorda elektr jihatdan zaryadlangan zarrachalar (elektronlar va ionlar) hosil qilishi mumkin. Bu, ko'pincha, qattiq izolatsiya teshilishiga, natijada elektr mashina, apparat, kabel va shunga o'xshashlarning ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Normal ish sharoitlarida gazsimon dielektriklarning o'tkazuvchanligi juda kam va dielektrik isroflar oz ($\text{tg}\delta \approx 10^{-6}$) bo'ladi.

2.2. Gazsimon dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi

Har qanday gazda elektr kuchlanish ta'sir etgunga qadar ham ma'lum miqdorda elektr jihatdan zaryadlangan zarrachalar—elektronlar va ionlar bo'ladi, ular gazda tartibsiz harakatda (issiqlik harakati) bo'ladi. Bular gazning zaryadlangan zarrachalari, shuningdek, qattiq va suyuq moddalarning—masalan, havoga aralashgan moddalarning zaryadlangan zarrachalari bo'lishi mumkin.

Havoda elektr jihatdan zaryadlangan zarrachalar gazning tashqi energiya manbalari (tashqi ionizatorlar); kosmik nurlar va quyosh nurlari, Yerning radioaktiv nurlanishlari va boshqalar ta'siridan ionlanishidan hosil bo'ladi.

Gazning tashqi ionizatorlar ta'sirida ionlanish protsessining mohiyati shundan iboratki, bunda ionizatorlar energiyaning bir qismini gaz atomlariga beradi. Natijada, valent elektronlar qo'shimcha energiyaga ega bo'lib qoladi va o'z atomlaridan ajraladi, bu atomlar esa musbat zaryadlangan zarrachalar—musbat ionlarga aylanadi. Hosil bo'lgan erkin elektronlar uzoq vaqt davomida gazda mustaqil harakat qilishi mumkin

yoki ular ma'lum vaqtdan keyin elektr jihatdan neytral atom va gaz molekulariga birikib, ularni manfiy zaryadlangan ionlarga aylantiradi.

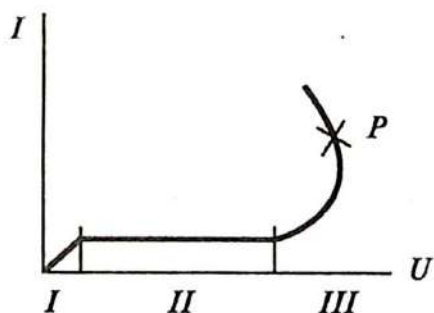
Manfiy zaryadlangan (elektronlar) va musbat zaryadlangan (ionlar) zarrachalar tartibsiz issiqlik harakatda bo'lganida ularning bir qismi o'zaro birikib, gazning elektr jihatdan neytral atom va molekularini hosil qiladi. Bu protsess *tiklanish* yoki *rekombinatsiya* deyiladi.

Agar metall elektrodlar orasiga ma'lum hajm gaz qo'yilsa, elektrodلarga elektr kuchlanish berilganda gazdagi zaryadlangan zarrachalarga elektr kuchlar — elektr maydon kuchlanganligi ta'sir etadi.

Bu kuchlar ta'sirida elektronlar va ionlar bir elektrodان ikkinchisiga tomon siljiydi va gazda elektr tokini vujudga keltiradi.

Vaqt birligi ichida gazda zaryadlangan zarrachalar qanchalik ko'p hosil bo'lsa va ular elektr maydon kuchlari ta'sirida qanchalik tez harakatlansa, gazda tok shunchalik ko'p bo'ladi. Natijada, gazning ayni hajmiga qo'yilgan kuchlanish ortishi bilan elektron va ionلarga ta'sir etuvchi elektr kuchlar ham ko'payadi. Bunda zaryadlangan zarrachalarning tezligi va binobarin, gazdagi tok ortadi.

Gaz hajmiga qo'yilgan kuchlanishga qarab tokning ortishi grafik tarzda *volt-ampere xarakteristika* deyiladigan egri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi (12-rasm). Bu xarakteristika kuchsiz elektr maydon zonasida, zaryadlangan zarra-chalarga ta'sir etuvchi elektr kuchlar nisbatan kichik bo'lganda (grafikdagi I zona) gazdagi tok qo'yilgan kuchlanishga proporsional ravishda ortishini ko'rsatadi. Bu zonada tokning o'zgarishi Om qonuniga muvofiq sodir bo'ladi.



12-rasm. Gazsimon dielektrikning volt-ampere xarakteristikasi.

Kuchlanish yanada ortishi bilan (II zona) tok va kuchlanish orasidagi proporsionallik buziladi. Bu zonada o'tkazuvchanlik toki kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. Bu zonada gazning zaryadlangan zarrachalari—elektronlar bilan ionlar energiya to'playdi. Kuchlanish yanada ortishi bilan (III zona) zaryadlangan zarrachalarning tezligi keskin ortadi, natijada ular gazning

neytral zarrachalariga tez-tez urila boshlaydi. Bunday elastik urinishlarda elektron va ionlar o'zlari to'plagan energiyaning bir qismini gazning neytral zarrachalariga uzatadi. Natijada, elektronlar o'z atomlaridan ajralib chiqadi. Bunda yangi zaryadlangan elektr zarrachalar: erkin elektronlar va ionlar

hosil bo'ladi. Uchayotgan zaryadlangan zarrachalar gazning atom va molekulariga tez-tez urilganligi sababli yangi zaryadlangan elektr zarrachalar ancha tez hosil bo'lib turadi. Bu protsess *gazning zarbiy ionlanishi* deyiladi zarbiy ionlanish zonasida (12-rasmdagi III zona) kuchlanish salgina ko'payganda ham gazdagi tok tez ortib ketadi. Gazsimon dielektrlardagi zarbiy ionlanish protsessida gazning solishtirma hajmiy qarshilik kattaligi (ρ_v) keskin kamayadi va dielektrik isroflar burchak tangensi ($\tan\delta$) kattalashadi.

Aniqki, gazsimon dielektrlardan zarbiy ionlanish protsessi sodir bo'ladigan kuchlanishlardan past kuchlanishlardagina foydalanish mumkin. Bunday sharoitda gazlar yaxshi dielektrik hisoblanadi, ularning solishtirma hajmiy qarshiligi juda katta ($\rho \approx 10^{18} \text{ Om}\cdot\text{m}$), dielektrik isroflarning burchak tangensi esa juda kichik ($\tan\delta \approx 10^{-6}$) bo'ladi.

2.3. Gazsimon dielektrlarning teshilishi

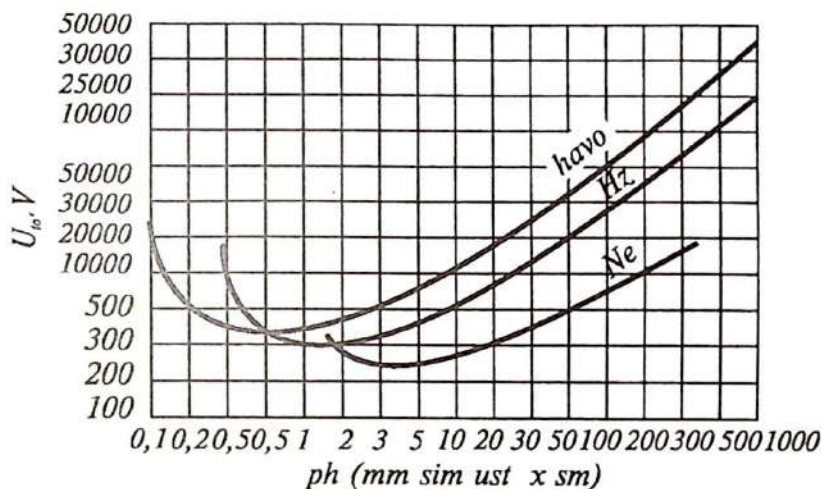
Gazda zarbiy ionlanish protsessining kuchayishi gaz ayni hajmining teshilishiga olib keladi (12-rasmdagi P nuqta). Gaz teshilgan paytda unda tok keskin ko'payib ketadi, kuchlanish esa nolga intiladi. Gazning teshilishi uchqun razryad ko'rinishida bo'ladi, ya'ni bunda gaz muhitga joylashtirilgan metall elektrodning sirtlarini tutashtiruvchi yorug' uchqunlar chiqadi.

Bir jinsli elektr maydonda gazsimon dielektrlarning teshilish hodisasi quyidagi formula bilan ifodalanadi (Pasheon qonuni):

$$U_{to} = A \rho h, \quad (8)$$

bunda, U_{to} —gaz qatlamini teshib o'tish kuchlanishi; r —gaz bosimi, h —gaz muhitidagi elektrodlar orasidagi masofa; A —gaz bosimi (r)ga va gaz qatlamining qalinligi h ga bog'liq bo'lgan kattalik.

Pasheon qonuniga ko'ra istalgan gazning teshilish kuchlanishining qiymati gaz bosimining elektrodlar orasidagi masofaga ko'paytmasiga to'g'ri proporsional (13-rasm). Shunday qilib, gazning teshilish kuchlanishining qiymati gazning bosimi hamda elektrodlar orasidagi gaz qatlami qalinligining ortishi bilan kattalashadi (13-rasmdagi egri chiziqning o'ng qismi). Bosim pasayishi va elektrodlar orasidagi masofa kamayishi bilan gazning teshilish kuchlanishi kamayadi, lekin minimumdan o'tib, siyraklangan gaz sohasida yoki elektrodlar orasidagi masofa kichik bo'lgan zonada yana kattalasha boshlaydi (13-rasmdagi U-simon egri chiziqning chap qismi). Chunki siyraklangan gaz zonasida ionlash obyekti bo'lgan gazning atom va molekular soni keskin kamayadi, demak, zarbiy ionlanish protsessi ham ancha yuqori kuchlanishlarda sodir bo'ladi.



13-rasm. Gazlar teshilishi kuchlanishining gaz bosimi r bilan elektrodlar orasidagi masofa h ko'paymasiga bog'liqligi.

Elektrodlar orasidagi masofa juda kichik ($h=0,1$ mm va undan kam) bo'lgan zonada ham gazning teshilishi yuqori kuchlanishlarda bo'ladi. Buning sababi shuki, bunda yo'l qisqaligi tufayli zaryadlangan zarrachalar zarbiy ionlanish protsessining amalga oshishi uchun zarur bo'lgan energiyani to'play olmaydi. Bunday protsess sodir bo'lishi uchun ancha yuqori kuchlanish kerak. Demak, kichik qatlam gazning elektr mustahkamligi qatlam qalinligi katta bo'lgandagiga qaraganda kattaroq bo'lar ekan. Shunday qilib, gazning qatlam qalinligi ortishi bilan uning elektr mustahkamligi kamayadi. Normal bosimda va elektrodlar orasidagi masofa 1 sm hamda undan katta bo'lganda havoning elektr puxtaligi $E_m=3$ MV/m. Havo qatlamining qalinligi kattalashishi bilan bu miqdor kamaya boradi. Boshqa gazlarda ham huddi shu hol kuzatiladi. 2-jadvalda keltirilgan ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, elegazning elektr mustahkamligi qolganlamikidan kattadir, issiqlik o'tkazuvchanligi va issiqlik sigimi eng katta gaz esa vodoroddur. Shu sababli vodoroddan katta quvvatli elektr mashinalarda (generatorlarda) sovituvchi muhit sifatida (havo o'miga) foydalaniladi.

Gazdagi elektr maydonning bir jinslilik darajasiga qarab, gazsimon dielektrikning teshilishi turlicha sodir bo'ladi. Masalan, havoda bir jinsli elektr maydon bo'lganida teshilish birdaniga uchqun ko'rinishida sodir bo'ladi. Tok manbayi ancha quvvatli bo'lsa, bu uchqun razryad elektr yoyga aylanib ketishi mumkin.

Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida gazning teshilishi bir necha oraliq bosqichlar orqali sodir bo'ladi. Dastlab radiusi kichik elektrod atrofidagi gaz qatlami elektr jihatdan qisman buziladi. So'ngra kuchlanish ko'payganida

kichik radiusli elektrod (simning uchi, kichik diametrli sim va boshq.) sirtidagi gazda toj hosil qiluvchi razryad ko'rinadigan elektr toj paydo bo'ladi (13-rasmga qarang). Bu toj kichik radiusli elektrod atrofidagi havo qatlamida och binafsha yorug'lanish paydo bo'lishidan iborat. Elektr toj paydo bo'lganda vishillagan tovush chiqadi va havoda ozon O_3 hamda azot oksidlari NO hosil bo'ladi. Bu gazlar metallarni hamda o'raliq moddalardan tayyorlangan ko'pchilik elektr izolatsion materiallarni (rezinalar, plastmassalar va boshqalarni) aktiv oksidlaydi. Ozon va azot oksidlari ta'sirida ko'pchilik organik dielektriklar yemiriladi. Kuchlanish yanada ko'payganida toj hosil qiluvchi razryad uchqun razryadga aylanadi, ya'ni gaz elektr jihatdan batamom buziladi (elektr izolatsion xossalari yo'qoladi).

Shuni aytib o'tish kerakki, bir jinsli elektr maydonda gazning teshilishi uchun kuchlanish, odatda, bir jinsli bo'lmagan elektr maydonda xuddi shunday qatlamdagi gazning teshilishiga sabab bo'ladigan kuchlanishdan ko'p bo'ladi.

Amalda, asosan, bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlar bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Ular yuqori kuchlanishli ikkita qo'shni simlar orasida, elektr uzatish liniyalarida sim bilan yerga tutashtirilgan machta orasida va boshqa hollarda kuzatiladi.

Orasida bir jinsli bo'lmagan elektr maydon vujudga keladigan tipik elektrodlar jumlasiga uchlik (sim uchi)—tekislik, uchlik — uchlik va boshqalar kiradi. Haqiqatan ham uchlik atrofida kuch chiziqlari juda quyuq bo'ladi, binobarin, bu erda gazning zarbiy ionlanishini vujudga keltiradigan katta kuchlanishlar ta'sir etadi. Uchlikdan tekislikka tomon uzoqlashilgan sari kuch chiziqlarining quyuqligi kamayib boradi, demak, elektr maydon kuchlanganligi ham kamayadi. Bunda ularning gaz zarfachalariga bo'lgan ionlovchi ta'siri ham kamayadi.

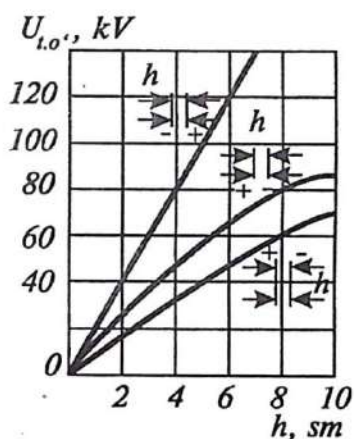
Tipik elektrodlar orasida gazning teshilishiga oid qonuniyatlar yuqori kuchlanish qurilmalarining ko'pchilik elementlarida (elektr uzatish liniyalari, havoli vikluchatellar va boshqalar) kuzatiladi. Bir jinsli bo'lmagan maydonda gazning teshilishiga elektrodning qutblanganligi ham katta ta'sir ko'rsatadi. Qalinligi bir xil bo'lgan gaz qatlami uchun musbat o'tkir uchli igna bilan manfiy zaryadlangan tekislik orasida teshib o'tish kuchlanishi manfiy uchlikdagiga qaraganda ancha kichik bo'ladi (14-rasm).

Bu hol musbat zaryadlangan ionlarning uchlik atrofida to'planishi va ularning manfiy zaryadlangan tekislik yo'nalishida tarqalishi bilan tushuntiriladi. Buning natijasida uchlik go'yo o'sib, gaz qatlamiga kirib borgandek bo'ladi va uchqun razryadning yo'li qisqaradi. Bunda gaz nisbatan past kuchlanishlarda teshib o'tiladi. Bu holda manfiy zaryadlangan uchlikda teshib o'tish kuchlanishi musbat zaryadlangan uchlikdagiga qaraganda yuqori bo'ladi. Ikkita uchlik orasida havoni teshib o'tish kuchlanishi uchlik-tekislik

(musbat uchlikda) bo'lgan holdagidan yuqori bo'ladi. Bu hodisa ikkita uchlik orasidagi elektr maydonning bir jinsli emaslik darajasi ancha kamligi bilan tushuntiriladi. Elektr toj paydo bo'lishining oldini olish va gazsimon dielektrikning teshilish kuchlanishi qiymatini oshirish uchun elektrod-larning uchlari yumaloqlanadi yoki ularni katta diametrli metall qalpoqlar (ekranlar) bilan yopib qo'yishga harakat qilinadi.

Yuqorida, gazda qattiq dielektriklar bo'lmaganida ularning teshilish hodisasi ko'rib chiqildi. Amalda gaz bilan qattiq dielektrik chegarasida gazning teshilish hollari ko'p uchraydi. Bunga chinni izolatning sirtini uchqun qoplab olishi misol bo'la oladi. Bu hodisa qattiq dielektrik sirtida havo qatlamining teshilishidan iborat. Qattiq dielektrik chegarasida havo qatlamini teshib o'tadigan kuchlanish barcha hollarda huddi shu masofada qattiq dielektrik bo'lmagan holda gazning teshilish kuchlanishidan kam bo'ladi.

2.4. Suyuq dielektriklar haqida umumiy tushuncha



14-rasm. Havo teshilish kuchlanishining elektrodlar oralig'iga bog'liqligi:
uchlik — tekislik;
turlicha qutblangan uchlik — uchlik.

Suyuq dielektriklar elektrotexnika qurilmalarida keng ko'lamda ishlatiladi. Kuch transformatorlari, reaktorlar, moyli vikluchatellar, kondensatorlar, kabellar va elektr jihozlar boshqa elementlarining ichki bo'shlig'iga suyuq dielektriklar to'ldiriladi. Elektr uskunalariga vakuum ostida to'ldiriladigan suyuq dielektriklar o'ramlarining g'ovak izolatsiyasiga, kartonlarga va boshqa g'ovak elektr izolatsion materiallarga yaxshi shimiladi va ularning elektr puxtaligini ancha oshiradi. Shuning bilan birga suyuq dielektriklar issiqlikni tashib ketuvchi muhit rolini ham o'ynaydi. Masalan, transformatorlarda izolatsiya moyi o'ramlarga tegib qiziydi, so'ngra esa

transformator baklarining sovuq devorlari bo'ylab siljib, olgan issiqligini shu devorlarga beradi. Moyli vikluchatellarda suyuq dielektrik tok o'tkazuvchi qismlarni izolatsiyalash bilan birga ishlayotgan vikluchatelning kontaktlari orasida paydo bo'ladigan elektr yoini so'ndiruvchi muhit rolini ham o'ynaydi.

Suyuq dielektriklar sifatida neftdan olinadigan elektr izolatsion moylar eng ko'p ishlatiladigan bo'ladi. Ular uch gruppaga bo'linadi: transformatorlar va yuqori voltli vikluchatellar uchun ishlatiladigan moylar; kondensatorlarning qog'oz izolatsiyasiga shimdirish uchun ishlatiladigan moylar; yuqori voltli kabellar uchun ishlatiladigan moylar. Sovol, sovtollar va PESJ («Kaloriya-2») kabi sintetik moylar kamroq ishlatiladi.

2.5. Neft moylari

Neftdan olinadigan elektr izolatsion moylar neftni bo'laklab haydash metodi bilan olinadi. Bu murakkab protsess bo'lib, bir qator operatsiyalardan tarkib topadi va natijada solar moyi olinadi. Solar moyiga ketma-ket sulfat kislota va ishqor bilan ishlov berish orqali undan kimyoviy beqaror birikmalar yo'qotiladi. Tozalash, quritish va filtrlashdan keyin transformatorlar, kondensatorlar va kabellar uchun elektr izolatsion moy olinadi. Kondensator va kabel moylari qo'shimchalardan ancha yaxshi tozalanganligi bilan ajralib turadi, shuning uchun uning elektr xarakteristikalari birmuncha yuqori bo'ladi.

Neft moylarining kimyo-viy tarkibi neftning tarkibi bilan aniqlanadi. Neftdan olinadigan barcha elektr izolatsion moylar naften, parafin va aromatik qator uglevodorodlarining aralash-masidan iborat.

Naften uglevodorodlar uglerodning vodorod bilan hosil qilgan birikmalari bo'lib, ular yon zanjirli yopiq halqalar ko'rinishida bo'ladi, shu sababli ular, ko'pincha, siklik uglevodorodlar deyiladi:

Bu uglevodorodlar oksidlanishga chidamlidir, shu sababli ulardan moylar tarkibida foydalaniladi. Moyda naften uglevodorodlarning miqdori 70—80 %ga yetadi.

Parafin qatori uglevodorodlari uglerod bilan vodorodning zanjir strukturali molekulalar holidagi birikmalaridir:

Parafin qatori uglevodorodlari uglerod bilan vodorodning zanjir strukturali molekulalar holidagi birikmalaridir:

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, o'zaro bog'langan uglerod atomlarining soniga qarab zanjirlarning uzunligi turlicha bo'lishi mumkin. Parafin qator uglevodorodlari kimyoviy barqaror, ya'ni oksidlanishga qarshi chidamli bo'ladi.

Aromatik uglevodorodlar ham uglerod bilan vodorodning oksidlanishga chidamli siklik birikmalaridir. Bu uglevodorodlarni elektr izolatsion moy tarkibidan chiqarib yuborishi moyning tez oksidlanishiga sabab bo'lishi aniqlangan, lekin moylar tarkibida aromatik uglevodorodlarning hatdan tashqari ko'p bo'lishi moy bug'ining alangalanish temperaturasini pasaytiradi va cho'kma tushishiga olib keladi. Buning natijasida moyning

elektrik xarakteristikalari yomonlashadi. Moyda aromatik uglevodorodlarning miqdori 10—12 %dan oshmaydi.

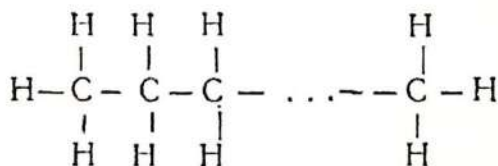
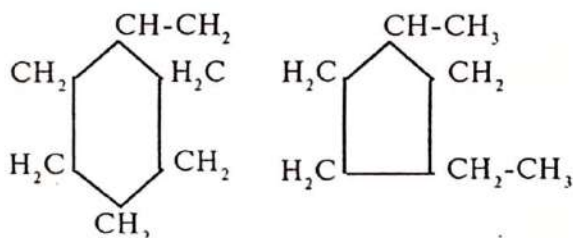
Neftdan olinadigan elektr izolatsion moylarning tarkibiga boshqa komponentlar—organik kislotalar, smolasimon moddalar, oltingugurtli birikmalar va ozroq miqdorda oksidlanuvchan to'yinmagan uglevodorodlar ham kiradi.

Neftdan olinadigan elektr izolatsion moylarning ko'pgina miqdori qog'oz izolatsiyali kuch kabellari ishlab chiqarishda ham ishlatiladi.

Kabel moylari qovushqoqligiga ko'ra quyidagi gruppalariga bo'linadi:

- 1) qovushqoqligi kam bo'lgan moylar MN-2;
- 2) qovushqoqligi o'rtacha bo'lgan moylar S-110 va S-220;
- 3) qovushqoq moylar.

Qovushqoqligi kam bo'lgan moy MN-2 moy to'ldiriladigan past va o'rta bosimli ($3 \cdot 10^5$ Па gacha) kabellarda ishlatiladi. Barcha ish temperaturalarda nisbatan kichikroq kanallar orqali kabelga moy to'liq shimilishi uchun bunday kabellarda moyning qovushqoqligi kam bo'lishi zaruriydir.



Qovushqoqligi o'rtacha S-110 va S-220 moylar 110 kV va undan yuqori kuchlanishda $14 \cdot 10^5$ Па ga yaqin bosimda ishlaydigan moy to'ldiriladigan yuqori voltli kabellarga shimdirish va ularni to'ldirish uchun mo'ljallanadi. Bu moylar tarkibida aromatik uglevodorodlar ham, smolasimon moddalar ham bo'lmaydi. Ular naften va parafin uglevodorodlarning texnikaviy sof aralashmasidan tarkib topgan, shu sababli elektrik xarakteristikalari ancha barqaror bo'ladi.

Eng qovushqoq moy 35 kV gacha kuchlanishda ishlaydigan qog'oz izolatsiyali kabellar uchun ishlatiladi, ularda shimiluvchi suyuq modda neft moyi va unda eritilgan kanifoldan iborat bo'ladi. Bunday kabellarda suyuq izolatsiya hech qanday ortiqcha bosim ostida bo'lmaydi, shimdiriladigan moy nihoyatda qovushqoq bo'lganidan, qiya yoki vertikal o'rnatilgan kabelda oqib ketmaydi.

3-jadvalda neftdan olinadigan elektr izolatsion moylarning asosiy xarakteristikalari keltirilgan.

Neftdan olinadigan izolatsion moylarning asosiy xarakteristikallari

3-jadval

Xarakteristikallari	O'lchov birliklari	Transformator moyi	Kondensator moy	Kabel moylari	
				MN-2	S-220
Zichligi	kg/m ³	870-890	860	890	840
20°C dagi qovushqoqligi	m ² /sek	30·10 ⁻⁸	40·10 ⁻⁶	36·10 ⁻⁶	800·10 ⁻⁶
50°C dagi qovushqoqligi	m ² /sek	9,2·10 ⁻⁶	10·10 ⁻⁶	9·10 ⁻⁶	60·10 ⁻⁶
Bug'larining alanganish temperatura (kamida)	°C	135	135	135	180
Qotish temperaturasi (ko'pi bilan)	°C	- 45	- 45	- 45	- 30
20°C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi	Om·m	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹⁴
Kislota soni	mg KON/g	0,03-0,05	0,01-0,02	0,04	0,02
Dielektrik singdiruvchanligi	-	2,2-2,4	2,2	2,3	2,4
50° Гц da dielektrik isrof burchak tangensi	-	0,003-0,005	0,002-0,003	0,003	0,003
20°C dagi elektr mustahkamligi	MV/m	18	20	18	20

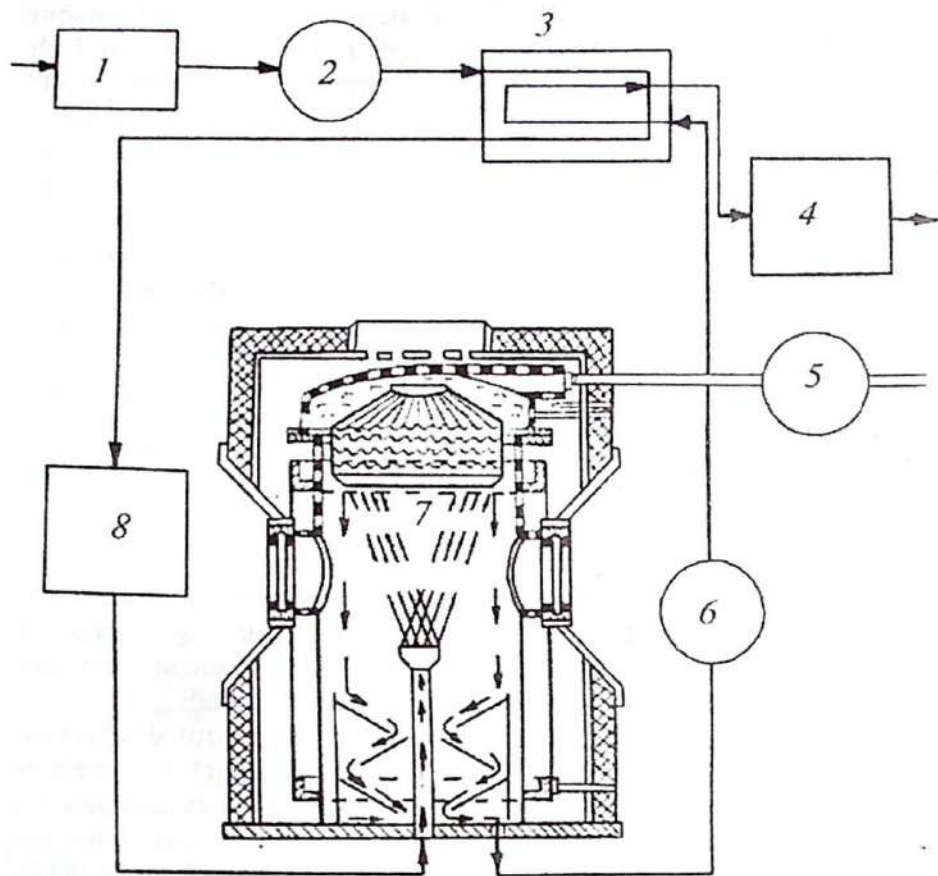
Barcha moylar ishlatilish jarayonida yuqori temperatura, elektr maydon ta'sirida bo'ladi, shuningdek, elektr uskunalarining metall qismlariga tegib turadi. Ba'zi elektr uskunalarida moyga atmosfera havosi tegib turadi. Aytib o'tilgan barcha faktorlar moyning eskirishiga sabab bo'ladi, ya'ni bunda moy oksidlanadi. Moyning eskirishi mis, latun, temir kabi metall katalizatorlar ta'sirida tezlashadi. Moyda suvning bo'lishi ham uning eskirish protsessini tezlashtiradi. Moy eskirganida unda erimaydigan, lekin issiq moyda eriydigan qattiq smolasimon aralashmalar hosil bo'ladi. Bunday qo'shimchalar transformatorlarning chulg'amlariga va boshqa qismlariga cho'kma holida o'tiradi va qizigan qismlardan issiqlikning olib ketilishi qiyinlashtiradi. Qo'shimchalar moyda erigan holatda bo'lganida uning elektr xossalarini ancha yomonlashtiradi. Moyning eskirish protsessida unda kislotalar va namlik hosil bo'ladi, ular transformatorlarda, kabellarda va boshqa elektr uskunalarda izolatsiya darajasini keskin kamaytirib yuboradi.

Moylarning eskirishini sekinlatish uchun ularga oksidlanishni to'xtatuvchi moddalar—ingibitorlar qo'shiladi. Lekin ingibitorlar qo'shish moyni eskirishdan batamom saqlab qola olmaydi. Shu sababli elektr izolatsion moylarni quruq idishlarda saqlash va tashish, ularni toza metall trubalar orqali uzatish kerak (rezina shlanglar orqali uzatish yaramaydi, ular moyda erib, moyni ifloslantiradi). Ishlatish jarayonida moyni unga havo va namlik kirishidan saqlash kerak. Moy to'ldiriladigan apparatlarning qopqog'i zich beqiladigan bo'lishi va ularda konservatorlar ya'ni qo'shimcha bochkalar bo'lishi kerak. Ba'zan transformatorlarda moy ustidagi bo'shliq inert gaz, masalan azot bilan to'ldiriladi, u moyni oksidlanishdan saqlaydi. Moyni eskirishdan saqlash choralari ko'rilishiga qaramay, u bari bir oksidlanadi va vaqt o'tishi bilan unda qattiq hamda suyuq oksidlanish mahsulotlari va suv paydo bo'ladi. Shu sababli ishlatilayotgan moyni vaqt-vaqti bilan qo'shimchalardan hamda suvdan tozalash va hatto, uning xossalarini tiklash zarur bo'ladi. Tozalashning bir necha usullari bor. Moydan suvni bug'latish yo'li bilan, moyni suvning qaynash temperaturasiga qadar qizdirib yo'qotish mumkin. Lekin havo kirib turganida moy har qanday qizdirilsa ham bari bir buziladi, shu sababli moy maxsus qurilmalarda vakuum ostida quritiladi. Buning natijasida, birinchidan, anchagina miqdorda havo va binobarin, kislorod yo'qotiladi, ikkinchidan, suvning qaynash temperaturasi pasayadi, ya'ni uning bug'lanishi osonlashadi.

15-rasmda moyni vakuumda purkash yo'li bilan quritish chizmasi ko'rsatilgan. Moy nasos bilan filtr (1), issiq almashtirgich (3) va elektr isitkich (8) orqali purkalgan holatda vakuum qozon (7) ga uzatiladi, bu yerda suv bug'i gaz va vakuum nasos (5) bilan so'rib olinadi. Shundan keyin moy nasos (6) bilan issiq almashtirgich (3) orqali filtrpress (4) ga uzatib beriladi, so'ngra bevosita transformator yoki idishga o'tadi. Bunda moy suv va qo'shimchalardan tozalanadi.

Moyni qattiq qo'shimchalardan sentrifuga yordamida tozalash mumkin, unda zichligi moyning zichligidan katta bo'lgan qattiq zarrachalar sentrifuga devorlariga otilib chiqadi va chiqarib tashlanadi. Bu erda moy yupqa pardalarga ajraladi, shu sababli uning oksidlanish xavfi tug'iladi, chunki yaxshi tozalash va qovushqoqligini kamaytirish uchun moy sentrifugadan qizdirilgan (40—60°C gacha) holatda o'tkaziladi.

Suyuq dielektriklar suvdan va qattiq zarrachalardan ham filtr-press yordamida tozalanadi; bunda isitilgan izolatsion suyuqlik (3—5) 10⁵ Па bosim ostida filtr-press orqali o'tkaziladi. U filtr kartondan iborat to'siqlar sistemasidan o'tadi. Iflosliklardagi qattiq zarrachalar karton listlarning sirtiga o'tiradi, karton kapillarlarining devorlari esa namlikni yutadi, lekin tozalangan va quritilgan suyuq dielektrikni o'tkazib yuboradi.



15-rasm. Moyni vakuum ostida to'zitish yo'li bilan quritish chimasi:

1—dastlabki filtr; 2—5 va 6—nasoslar; 3—issiq almashtirgich;
4—filtr-press; 7—vakuum qozon; 8—elektr isitgich.

O'ta eskirgan, kislota soni 0,4 mg KON/g dan yuqori kuchli darajada oksidlangan moyni tiklash (regeneratsiyalash) zarur bo'ladi. Moylarni regeneratsiyalashning bir necha usullari bor. Juda oksidlangan va eskirgan moylar kislota-ishqoriy usul bilan tiklanadi. Bunda regeneratsiyalanadigan moyga 0,5—2 % kuchli sulfat kislota qo'shiladi. Kislota barcha beqaror birikmalarni bog'laydi va ularni kislotali gudronga aylantiradi. Shundan keyin tindirilgan moyga organik kislotalar va sulfat kislota qoldiqlarini neytrallash uchun ishqor bilan ishlov beriladi. So'ngra moy distirillangan suvda yuviladi va unga adsorbentlar bilan ishlov beriladi, shundan keyin filtr-press orqali filtrlanadi yoki sentrifuga orqali o'tkaziladi.

2.6. Sintetik suyuq dielektriklar

Neftdan olinadigan elektr izolatsion moylarning kamchiligi ularning yonuvchanligi, bug'larining alangalanish temperaturasi unchalik yuqori emasligi va dielektrik singdiruvchanlik qiymatining kichikligidir. Xlorlangan uglevodorodlardan tarkib topgan sintetik suyuqliklarning bunday kamchiligi yo'q. Ularning tipik vakili sovoldir. U suyuqlantirilgan kristall modda—difenil $H_5C_6-C_6H_5$ ni xlorlash yo'li bilan tayyorlanadi.

Katalizator (qalay, temir va boshqalar) ishtirokida suyuqlantirilgan difenil orqali xlor o'tkaziladi. Bunda difenil molekulasidagi vodorod atomlarining xlor atomlariga almashinish reaksiyasi sodir bo'ladi. Agar to'rttadan ko'p vodorod atomi almashinsa, moysimon mahsulot olinadi. Sovolda beshta vodorod atomi xlor atomlariga almashingan $Cl_3H_2C_6-C_6H_3Cl$.

Sovol molekulari nosimmetrik tuzilganligi uchun ular qutblangan bo'ladi va sovol qutblangan dielektrik hisoblanadi. Uning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon=5,2$, ya'ni izolatsiya qog'ozlarining dielektrik singdiruvchanlik qiymatiga mos keladi, bu esa kondensatorlarning sig'imini oshiradi va qog'oz izolatsiyaning elektr mustahkamligini (E) oshiradi. Shu sababli sovol qog'oz kondensatorlarda shimdiriladigan modda sifatida ishlatiladi. Sovolning tgδ qiymati neft moylarinikiga qaraganda bir oz katta, elektr mustahkamligi esa neftdan olinadigan izolatsion moylarning elektr mustahkamligiga yaqin keladi.

Sovol yonmaydigan modda, bu uning neft moylariga nisbatan asosiy afzalligidir. Lekin uning ishlatilish sohalarini cheklaydigan muhim kamchiliklari ham bor. Sovolning qotish temperaturasi $5^{\circ}C$. Bundan tashqari, sovolning qovushqoqligi katta, uning $40^{\circ}C$ dagi.

Qovushqoqligi ($290 \cdot 10^{-6} m^2/sec$ atrofida bo'ladi, vaholanki, neft moyiniki $30 \cdot 10^{-6} m^2/sec$ ga teng. Bu hol uni xona temperaturasida qog'ozga shimdirishga imkon bermaydi, shimdirish uchun sovolni $50^{\circ}C$ ga qadar isitish lozim.

Tarkibida xlor borligi va zaharliligi sovolning eng katta kamchiligidir. Shuning uchun sovolni yaxshi yopiladigan idishda saqlash zarur. Sovol bilan ishlashda ehtiyot bo'lish lozim, chunki u shilliq pardalarni yallig'lantiradi.

Qovushqoqligini kamaytirish va yonmaslik xususiyatini saqlab qolish uning uchun yonmaydigan suyuqlik holdagi suyultirgich—trixlorbenzol $C_6H_3Cl_3$ topildi. 64 % sovol bilan 36 % trixlorbenzol aralashmasi sovtol-2, 90 % sovol bilan 10 % trixlorbenzol aralashmasi esa sovtol-10 deyiladi. Bu suyuqliklar qog'oz kondensatorlar ishlab chiqarishda va maxsus transformatorlarda ishlatiladi. Sovol va sovollar alangalanmay, balki ularning bug'lari uchqun chiqaradi, lekin bu suyuqliklarning o'zini alanga oldirib yubormaydi.

Muzlash temperaturasi juda past (60°C), elektrik xarakteristikallari keng temperaturalar oralig'ida barqaror va oksidlanishga juda chidamli kremniy-organik suyuqliklarning olinishi sintetik suyuq dielektriklar ishlab chiqish sohasida qo'lga kiritilgan katta yutuq bo'ldi. Keng ko'lamda ishlatiladigan kremniy-organik suyuqliklardan biri PESJ (PES-D) dir. Bu suyuqlik molekulalari quyidagicha tipdagi chiziqli zanjirlardan tarkib topgan kremniy-organik dielektriklar gruppasiga kiradi.

Sintetik suyuq dielektriklarning asosiy xarakteristikallari 4-jadvalda keltirilgan. 3 va 4-jadvalda keltirilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, sintetik suyuqliklarning elektrik xarakteristikallari yaxshi tozalangan neft moylarining tegishli xarakteristikalaridan keyinda turadi.

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, elektr izolatsion suyuqliklarning hammasi ancha gigroskopik va ularda namlik hamda aralashmalarining

Sintetik izolatsion suyuqliklarning asosiy xarakteristikallari

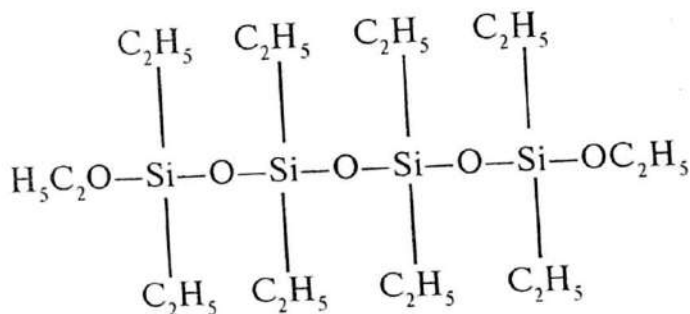
4-jadval

Xarakteristikallari	O'lchov birliklari	Sovol	Sovtol-2	Sovtol-10	PESJ (PES-D)
Zichligi	kg/m^3	1560	1520	1540	960
20°C dagi qovushqoqligi	m^2/sek	$290 \cdot 10^{-6}$	$115 \cdot 10^{-6}$	$650 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-6}$
50°C dagi qovushqoqligi	m^2/sek	$28 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	—
Bug'larining alangalanish temperatura (kamida)	$^{\circ}\text{C}$	200	200	200	200
Qotish temperaturasi (ko'pi bilan)	$^{\circ}\text{C}$	+ 5	- 45	- 7	- 60
20°C dagi solishtirma hajmiy qarshiligi	$\text{Om} \cdot \text{m}$	10^{13}	10^{12}	10^{12}	10^{14}
Kislota soni	mg KON/g	0,02	0,01	0,01	—
Dielektrik singdiruvchanligi	—	5,2	4,6	4,8	2,6
50°C da dielektrik isrof burchak tangensi	—	0,005	0,008	0,006	0,0003
65°C dagi elektr mustahkamligi	MV/m	18	20	20	25(20°C)

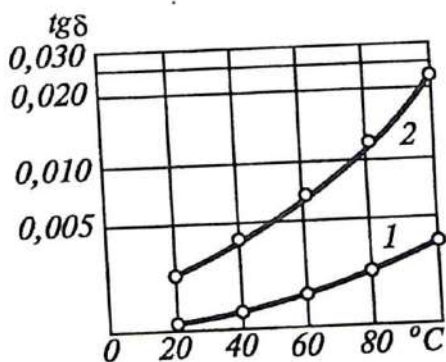
“lishi ularning elektrik xarakteristikalarini juda yomonlashtiradi (16 va 17-rasmlar). Elektr izolatsion suyuqliklarni germetik qiladigan idishlarda saqlash kerak.

2.7. Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi

Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi ionlarning harakatlanishi bilan bog'liq. Ionlar aralashmalar (suv, kislota va boshq.)



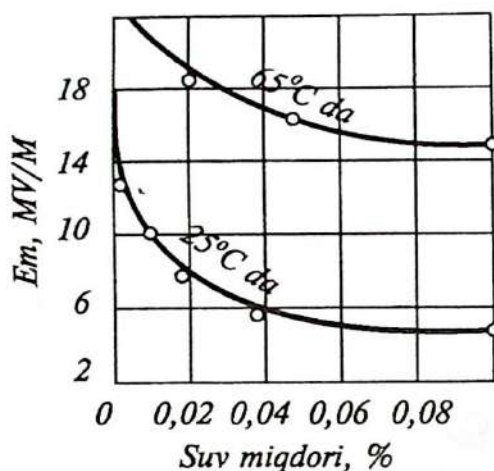
molekulalarining, qisman suyuq dielektrik molekulalarining ham dissotsialanishi (parchalanishi) natijasida hosil bo'ladi.



16-rasm. Neft moyi dielektrik isroflar burchak tangensining temperaturaga bog'liqligi (50 Гц da):

1—yangi tozalangan moy; 2—ishlatilgan moy.

Ishlatilayotgan ifloslangan suyuq dielektriklarda ionli elektr o'tkazuvchanlikdan tashqari million elektr o'tkazuvchanlik ham kuzatiladi. Bunday elektr o'tkazuvchanlik suvning elektr jihatdan zaryadlangan kolloid zarrachalarining va suyuq dielektrikning eskirishi natijasida hosil bo'ladigan smolasimon moddalar zarrachalarining harakatlanishi tufayli vujudga keladi. Temperatura ko'tarilishi bilan dielektrik isroflar burchak tangensining ortishi (16-rasmga qarang) suyuq dielektriklar elektr o'tkazuvchanligining



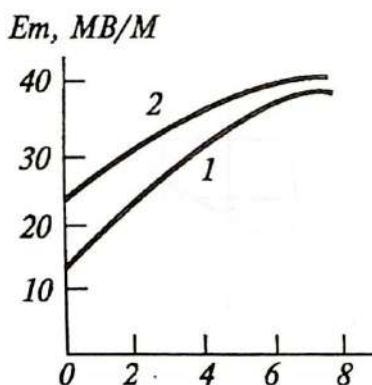
17-rasm. Neft moyi elektr mustahkamligining tarkibidagi suv miqdoriga (moyning turli tepmeraturasida) bog'liqligi.

ya'ni suyuq dielektrik teshiladi. Tarkibidagi suv miqdori ortishi bilan suyuq dielektrikning elektr mustahkamligi keskin kamayib ketadi (17-rasmga qarang). Temperatura ko'tarilishi bilan suv yoki smolasimon moddalar kolloid zarrachalarining bir qismi eriydi va suyuq dielektrikda tok o'tkazuvchi kanalning hosil bo'lishi qiyinlashib qoladi. Shu sababli suyuq dielektrikning elektr mustahkamligi ortadi (17-rasm).

Gazlarning pufakchalari ham suvning kolloid zarrachalari singari ta'sir etadi. Ular ionlangan bo'lgani sababli elektr kuchlar ta'sirida yuqori kuchlanish ostida bo'lgan metall qismlar orasida gaz kanalini hosil qiladi. Bunda elektr razryad gaz kanalida sodir bo'ladi. Tarkibida havo va boshqa gazlar bor suyuq dielektriklarning elektr mustahkamligi ko'p jihatdan bosimga bog'liq bo'ladi (18-rasm), bu

ko'payishi tufaylidir. Tozalangan suyuq dielektrikda tgd ning kattalashishi ishlatilgan dielektrikdagiga nisbatan ancha kam bo'ladi, chunki tozalangan dielektrikning elektr o'tkazuvchanligi ancha kamdir.

Suyuq dielektriklarning elektr mustahkamligi ko'p jihatdan unda suvning kolloid zarrachalari, smolasimon moddalar va suyuq dielektrikda erimagan boshqa iflosliklarning bo'lishiga bog'liq. Elektr kuchlar ta'siri ostida suvning yoki smolasimon moddalarning zaryadlangan zarrachalari zanjir ko'rinishida tizilib qoladi va undan elektr zaryadi o'tadi,



18-rasm. Neft moyi elektr mustahkamligining bosimga bog'liqligi:

1—texnikaviy moy; 2—gazlashtirilgan moy.

Pashyon qonuniga muvofiq keladi. Gaz-sizlantirilgan suyuq, dielektrikning elektr mustahkamligi bosimga kam darajada bog'liq bo'ladi. Suyuq dielektriklarning elektr xarakteristikalari darajasini oshirish uchun ular turli iflosliklardan va suvdan yaxshilab tozalanadi, shuningdek, gaz-sizlantiriladi, ya'ni suyuq dielektriklarga vakuumda ishlov beriladi.

2.8. Yuqori polimer qattiq materiallar

Yuqori polimer materiallar katta o'lchamli molekulalardan tarkib topgan bo'ladi. Bunday molekulalar *monomerlar* deyiladigan oddiy moddalarning o'n va yuz minglab molekulalaridan tuzilgan bo'ladi. Monomerlar—kimyoviy reaksiyalarga oson kirishadigan moddalardir. Bu reaksiyalar natijasida molekulalar massasi katta bo'lgan yangi yuqori polimer modda hosil bo'ladi.

Polimer molekulalarida monomerning molekulalari o'zaro kimyoviy bog'lanish kuchlari bilan puxta bog'langan bo'ladi, bu bog'lanish shartli ravishda chiziqchalar bilan tasvirlanadi. Masalan, boshlang'ich «A» moddaning molekulalari bir-biri bilan birikib, yangi yuqori polimer moddaning molekulalarini hosil qiladi:



Polimerlarning katta molekulalari tortilgan ip shaklida, ya'ni chiziqsimon strukturali bo'lishi mumkin.

Chiziqsimon strukturali molekulalardan tuzilgan polimerlar *chiziqsimon polimerlar* deyiladi. Ular qizdirilganda yumshay olish xossasiga ega, ya'ni *termoplastik materiallar* hisoblanadi.

Fazoda uch yo'nalishda tarmoqlangan molekulalardan tarkib topgan polimerlar ham bor. Bunday polimerlar *fazoviy polimerlar* deyiladi. Ular nisbatan mo'rt bo'lib, odatda, qizdirilganda yumshamaydi, ya'ni *termoreaktiv materiallar* hisoblanadi.

Polimerlar amorf yoki kristall tuzilishga ega bo'lishi mumkin. Ba'zi polimerlar aralash tuzilishli ham kristall, ham amorf tuzilishli bo'lishi mumkin.

Yuqori polimer moddalar tabiiy (qahrabo, tabiiy kauchuk va boshq.) hamda sintetik (polistirol, polivinilxlorid va boshq.) bo'lishi mumkin.

Tabiiy polimerlarning xossalari cheklanganligi sababli hozir elektrotexnikada, asosan, sintetik yuqori polimer dielektriklardan foydalaniladi. Ular kimyoviy polimerlanish va polikondensatlanish reaksiyalari natijasida olinishi mumkin va shunga muvofiq ravishda polimerizatsion yoki polikondensatsion dielektriklar deyiladi.

2.9. Qattiq polimerizatsion dielektriklar

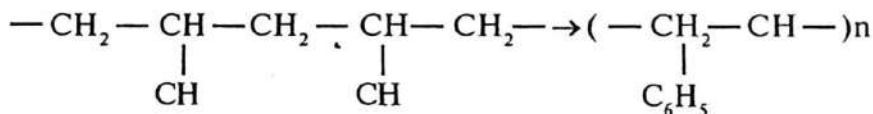
Polimerlanish—bu boshlang'ich (monomer) modda molekularining o'zining elementar tarkibini o'zgartirmay o'zaro birikib yuqori polimer moddaning katta molekularini hosil qilish protsessidir.

Misol tariqasida sintetik dielektrik—polistirolning olinish protsessini ko'rib chiqamiz. U boshlang'ich modda—stirolni polimerlash natijasida olinadi; stirol 145°C temperaturada qaynaydigan tiniq rangsiz suyuqlik. Agar stirolga benzoil peroksid qo'shilsa (stirol massasining 0,1—0,5 % qadar), aralashma 110°C ga qadar qizdirilganda polimerlanish reaksiyasi boshlanadi. Bunda stirol $H_2C=CH-C_6H_5$ molekulasidagi kimyoviy qo'shbo'g'lar uziladi va huddi ana shunday qo'shni molekulaga o'tadi. Buning natijasida stirol molekulari bir-biri bilan birikadi va yuqori polimer modda—polistirolning katta molekulasini hosil qiladi.

Bu protsessni quyidagi chima tarzida yozish mumkin:

Polistirolning polimerlanish darajasi $n=6000$, uning molekular massasi esa 300000—600000 ga teng. Boshlang'ich modda stirolning molekular massasi 104 ga teng.

Dastlabki bosqichda polistirol quyuuq tiniq suyuqlik bo'ladi, u isitilgan shishaqoliplarga quyiladi, shu qoliplardapolimerlanish protsessi tugallanadi. Qoliplardan plastinka va sterjeni ko'rinishidagi qattiq shaffof material olinadi. Polistirolni donador shaklda (ular diametri 3—5 mm va uzunligi 8—10 mm li silindr shaklidagi bo'laklar holda bo'ladi) yoki kukun shaklida (emulsion polistirol) ham olish mumkin.



Polistirolning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1050 kg/m³; $\sigma_{ch}=(300-500) \cdot 10^5$ N/m²; $a=12-18$ kJ/m²; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha) 75—80°C; suv singdiruvchanligi 0,03 % mas; sovuqqa chidamliligi — 60°C; $\rho_v=10^{13}-10^{15}$ Om·m; $\epsilon=2,4$; $tg\delta=(2-4) \cdot 10^{-4}$; $E_m=25-30$ MV/m.

Polistirol 110—120 °C da yumshaydigan termoplastik dielektrik; benzol, toluol, ksilol, uglerod tetraxlorid kabi qutblanmagan suyuqliklarda eriydi.

Polistiroidan g'altaklarning karkaslari, izolatsion panellar, elektr o'lchash asboblari uchun asos va izolatorlar tayyorlanadi.

Polistirol chiziqsimon strukturali molekulalardan tarkib topgan, lekin ular materialda tartibsiz joylashgan. Yumshatilgan polistirolni tirqish-fileralar orqali tortish (ekstruziya) molekullarni materialning tortilish yo'nalishida oriyentirlashga (yo'naltirishga) va qalinligi 20 dan 100 mkm gacha, eni esa 10 dan 300 mm gacha bo'lgan elastik polistirol pardalar

(stiroplyonkalar) olishga imkon beradi. Ularning elektr izolatsion xossalari qalin qatlamli polistirolniki kabi yuqori, elektr mustahkamligi esa polistirol pardalarda ancha katta bo'ladi: $E_m = 80-100 \text{ MV/m}$. Polistirol pardalar yuqori chastotali kabellarning simlarini izolatsiya qilish uchun, shuningdek, kondensatorlar ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Mo'rtligi, ya'ni zarbiy qovushqoqligining nisbatan kamligi va oson darz ketishi polistirolning va undan tayyorlangan buyumlarning asosiy kamchiligidir. Zarbga chidamli polistirollarda (polistirolning sintetik kauchuklar bilan aralashmasi yoki stirolning ba'zi sintetik kauchuklar bilan hosil qilgan sopolimerlari) bu kamchiliklar ancha yo'qotilgan. Zarbga chidamli polistirollar zarbiy qovushqoqligining yuqoriligi ($a = 40-50 \text{ kJ/m}^2$) va dielektrik singdiruvchanlik qiymatining birmuncha kattaligi ($\epsilon = 3,0-3,6$) bilan ajralib turadi. Zarbga chidamli polistirolning boshqa xarakteristikalarini oddiy polistirolniki darajasida bo'ladi. Zarbga chidamli polistirol donador shaklda ishlab chiqariladi.

Polietilen—oq yoki och kulrang tusli, ushlab ko'rilganda yog'li tuyuladigan, qattiq xira material; u etilen ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$) gazini bosim ostida polimerlash yo'li bilan olinadi.

Yuqori (VD), o'rta (SD) va past (ND) bosimda olinadigan polietilen bo'ladi (VD polietilen zichligi kam polietilen, SD va ND polietilenlar esa zichligi yuqori polietilenlar ham deyiladi).

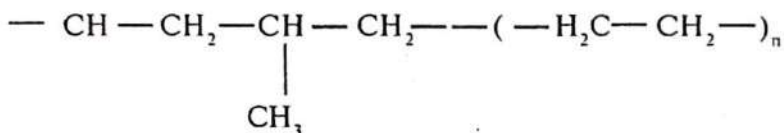
VD polietilen olish protsessi $1500-10^5 \text{ Pa}$ bosimda va $180-200^\circ\text{C}$ temperaturada kislorod ishtirokida ($0,05 \%$) olib boriladi. ND polietilen ($1-5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bosimda va 60°C temperaturada, lekin maxsus katalizatorlar ishlatib olinadi. SD polietilen $30-10^5 \text{ Pa}$ bosimda $130-140^\circ\text{C}$ temperaturada olinadi. Barcha hollarda ozroq miqdorda yoniga tarmoqlangan metil gruppalarini CH_3 bor chiziqliqsimon strukturali molekula hosil bo'ladi:

Polietilenning polimerlanish darajasi $n = 3000-5000$, molekular massasi esa 20000 dan 400000 gacha va undan yuqori bo'ladi.

ND va SD polietilenlar VD polietilendan zichligining biroz kattaligi, mexanik jihatdan puxtaligi va bikrligi kattaligi bilan farq qiladi, lekin ular issiqlik ta'sirida tez eskiradi.

Polietilenlar tarkibida 55 dan (VD) 92 %gacha (SD) kristall modda bo'ladi, shu sababli ularda suyuqlanish temperaturasi aniq ifodalangan; suyuqlanish temperaturasi 108°C (VD), 125°C (ND) va 130°C gacha (SD) bo'ladi.

Polietilenlar—termoplastik materiallardir. Ular zavodlarga donador ko'rinishda yuboriladi. Polietilenlardan buyumlar bosim ostida quyish, qaynoq holda presslash va ekstruziya metodlari bilan olinadi. Ekstruziya metodi simlarga polietilen izolatsiya qoplashda, shuningdek, izolatsiya shlanglari va naychalar tayyorlashda qo'llaniladi.



VD polietilendan qalinligi 30 dan 200 mkm gacha va eni 1 dan 1,5 m gacha bo'lgan yarim tiniq elektr izolatsion plyonkalar ham olinadi.

Polietilenning ancha qattiq xillaridan (SD, ND) elastik bo'lmagan elektr izolatsion buyumlar: g'altaklarning o'zaklari, plata va boshqalar tayyorlanadi. Polietilenlab xona temperaturasida erituvchilarning hech birida erimaydi. Faqat 70°C va undan yuqorida polietilenlar kislota, uglerod tetraxlorid, xlorlangan uglevodorodlarda va mineral moylarda eriydi.

Polietilenlarning asosiy xarakteristikalar: VD-zichligi 920 kg/m³; $\sigma_{ch} = (100-150) \cdot 10^5$ N/m²; zarba ta'sirida sinmaydi; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha 55-60°C; SD-zichligi 940 kg/m³; $\sigma_{ch} = 270-10^5$ N/m zarba ta'siridan sinmaydi; issiqbardoshligi 85°C (ND-zichligi 960 barcha polietilenlarning sovuqda chidamliligi—60°C; suv singdiruvchanligi 0,004 % dagk/m³; $\sigma_{ch} = 230-10^5$ N/m²; zarba ta'siridan sinmaydi; issiqbardoshligi 70°C; (suvda 30 kun turganda) oshmaydi.

Polietilenlarning elektr xarakteristikalar eng yaxshi polistirolniki darajasida bo'ladi. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, barcha polietilen buyumlar quyosh nuriga bardosh bera olmaydi. Nurbardoshligini oshirish uchun polistilenlarga qurum va boshqa bo'yoqlar qo'shiladi. Polietilendan yasalgan buyumlarni bir-biriga payvandlash mumkin.

Polivinilxlorid (polixlorvinil) oq rangli kukun bo'lib, undan qaynoq holda presslash yoki qaynoq holda siqib chiqarish usuli bilan mineral moylar, ko'pchilik erituvchilar, ishqorlar va kislotalar ta'siriga chidamli, mexanikaviy jihatdan mustahkam buyumlar (platalar, truba va boshqa.) olinadi.

Kukunsimon polivinilxlorid gazzimon modda—vinilxlorid H₂C=CH—Cl ni vodorod peroksidi va boshqalar ishtirokida polimerlash reaksiyasi natijasida olinadi.

Reaksiya ishqoriy moddalarning suvdagi eritmasida suyultirilgan vinilxlorid bilan olib boriladi (suvli emulsion polimerlanish). Polistirol va polietilen kabi polivinilxlorid ham termoplastik material hisoblanadi. Kukunsimon polivinilxloridni qaynoq holda presslash yo'li bilan qattiq, biki material—listlar, plastinalar, trubalar va sterjenlar ko'rinishidagi viniplast olinadi. U mineral moylar, suyultirilgan ishqor va kislotalar ta'siriga chidamliligi bilan ajralib turadi. Viniplastdan tayyorlangan buyumlar yuqori mexanikaviy mustahkamlikka, ayniqsa zarbiy yuklamalarga ega hamda elektr izolatsion xossalari yaxshidir.

Viniplastning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1350 kg/m^3 ; $\delta_{\text{ch}} = (400-500) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\alpha = 100-120 \text{ kJ/m}^2$; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha) $60-70^\circ\text{C}$; sovuqqa chidamliligi $-(15-25)^\circ\text{C}$; suv singdiruvchanligi $0,4-0,6 \%$ mas; $\rho_v = 10^{10}-10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon = 4$; $\text{tg}\delta = 0,01-0,02$; $E_m = 20-22 \text{ MV/m}$.

Viniplast $150-160^\circ\text{C}$ da metall qoliplarda oson qoliplanadi. Viniplastdan tayyorlangan buyumlarga istalgan mexanikaviy ishlov berish (yo'nish, frezalash va boshqalar), shuningdek, payvandlash va yelimlash mumkin. Ularni turli rangga bo'yash mumkin. Polivinilxloriddan akumulatorlar uchun baklar va zarbiy yuklamalarga chidamli turli xil elektr izolatsion detallar (plata va boshqalar) tayyorlanadi.

Viniplastning kamchiligi uning sovuqqa chidamsizroqligi va issiqbardoshligi nisbatan kamligidir. Viniplast $180-200^\circ\text{C}$ temperaturada parchalana boshlaydi.

Polivinilxlorid plastik — polivinilxlorid kukunining plastifikatorlar — quyuq moysimon suyuqliklar (dibo'tilftalat va boshqa.) bilan aralashmasidan olinadigan elastik rulon material. Plastifikatorlar 30 dan 45 % gacha miqdorda qo'shiladi. Plastifikatorlardan tashqari, polivinilxlorid plastikga bo'yoqlar, to'ldirgichlar va termostabilizatorlar ham qo'shiladi. Bu moddalarning hammasi kukunsimon polixlorvinil smola bilan aralashtiriladi va olingan aralashma qizdirilgan po'lat valeslar orasidan bir necha marta o'tkaziladi. Bunday ishlov berish natijasida elastik material — qalinligi $0,8$ dan $2,5 \text{ mm}$ gacha va eni esa 400 mm gacha bo'lgan lentalar holidagi polivinilxlorid plastikati rulonlari, shuningdek, donalari (granullar) olinadi. Plastik listi qalinligi 1 dan 5 mm gacha va yuzasi $600 \times 100 \text{ mm}^2$ bo'lgan listlar hoida tayyorlanadi.

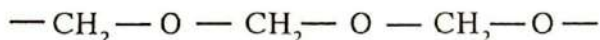
Plastikatning asosiy xarakteristikalar*: zichligi $1300-1400 \text{ kg/m}^3$; $\delta_{\text{ch}} = (100-180) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; sovuqqa chidamliligi $-(40-55)^\circ\text{C}$; suv singdiruvchanligi $0,2-0,5 \%$ mas.; parchalanish temperaturasi $200-220^\circ\text{C}$; $\rho_v = 10^8-10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon = 5-6$; $\text{tg}\delta = 0,03-0,1$; $E_m = 10-20 \text{ MV/m}$.

Polivinilxlorid plastik montaj simlarining asosiy izolatsiyasi sifatida, shuningdek, himoya qoplamalar — kabellarning shlanglarini tayyorlashda keng ko'lamda ishlatiladi. Polivinilxlorid plastik, odatda, qora, ko'k, sariq, qizil va boshqa ranglarga bo'yalgan bo'ladi. Plastikga bo'yoqlar materialning yorug'lik ta'sirida eskirishidan himoya qilish, shuningdek, montaj paytida simlarni bir-biridan farqlash maqsadida qo'shiladi. Bo'yoqlar qo'shilmagan polivinilxlorid plastik sarg'ish tovlanadigan tiniq materialdir. Polivinilxlorid plastikdan elastik izolatsion naylar va yopishqoq izolatsion lenta tayyorlanadi. Polivinilxlorid materiallarning o'ziga xos xususiyati shundaki, ular alangadan chiqarib olinishi bilan yonishdan to'xtaydi.

Poliformaldegid—(gazsimon formaldegidning polimerlanishi natijasida hosil bo'ladigan qattiq termoplastik dielektrik. Poliformaldegid molekulari chiziqsims trukturali bo'ladi:

Bu material oq rangli kukun bo'lib, undan bosim ostida quyish yoki ekstruziya yo'li bilan buyumlar olinadi.

Poliformaldegidning o'ziga xos xususiyati uning tarkibida kristall fazaning ko'pligidir (75 %), shu tufayli materialning mexanikaviy xarakteristikalar yuqori va suyuqlanish temperaturasi aniq ifodalangan (180°C) bo'ladi. U juda qattiq, yedirilishga chidamliligi katta va ishqalanish koeffitsiyenti kichik materialdir. Bu xossalr poliformaldegiddan shovqinsiz ishlaydigan shesternyali vachervakli uzatmalar hamdapodshpniklar tayyorlashga imkon beradi.



Ishlash temperaturalarlari oralig'i ancha keng (—55 dan 100°C gacha), namlik ta'siriga chidamli, kimyoviy barqaror, uchqun razryadlar ta'siriga bardoshli va elektrik xarakteristikalarlari yaxshi bo'lganligi sababli poliformaldegid elektr izolatsion material sifatida keng ko'lamda ishlatiladi. Undan izolatsion asoslar (platalar), murakkab shaklli g'altaklarning o'zaklari va boshqalar tayyorlanadi. Poliformaldegiddan tayyorlangan buyumlarga istalgan mexanikaviy ishlov berish: frezalash, yo'nish, teshish va boshqa operatsiyalarni bajarish mumkin.

Poliformaldegidning asosiy xarakteristikalarlari: zichligi 1400 kgs/m³; $\delta_{\text{ch}}=(600-700)\cdot 10^5$ N/m²; $\alpha=80-90$ kJ/m²; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha) 100°C; sovuqqa chidamliligi —50°C, suv singdiruvchanligi 2 %; $\rho_v=10^{12}-10^{13}$ Om·m; $\epsilon=3,0$; $\text{tg}\delta=(3-5)\cdot 10^{-3}$; $E_m=25$ MV/m.

Organik shisha (polimetilmetakrilat) yuqori polimer tiniq termoplastik material bo'lib, ko'pchilik ranglarga oson bo'yaladi. U qalinligi 0,8 dan 24 mm gacha va undan ko'p, yuzasi esa 400×500 mm dan 1400×600 mm gacha bo'ladigan listlar, shuningdek, kukun holida ishlab chiqariladi. Organik shisha—amorf tuzilishli material. Uning optik tiniqligi juda yuqori bo'ladi (spektrning ko'rinadigan oblastidagi nurlarni 92 %gacha o'tkazadi).

Organik shisha olishda suyuq modda—metilmetakrilat boshlang'ich material bo'lib xizmat qiladi. Unga ozroq miqdorda (0,1 %) benzoil peroksid va plastifikatsiyalovchi moddalar (moysimon suyuqliklar) qo'shiladi. Plastifikatsiyalovchi moddalar organik shishaning mo'rtligini kamaytiradi. Boshlang'ich komponentlar aralashmasi nikel idishda qorishtiriladi va isitilgandan keyin odatdagi silikat shishadan yoki metallndan tayyorlangan qizdirilgan (120°C gacha) qoli plarga quyiladi. Sovigandan keyin qoli plar qismlarga ajratiladi va olingan organik shisha listlari va plastinkalarining chetlari qirg'iladi.

Organik shishani kukun holida olish uchun metilmetakrilatning polimerlanish protsessi ishqoriy moddalarning suvdagi eritmasida olib boriladi.

Organik shishaning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1180 kg/m^3 ; $\delta_{\text{ch}} = (600-700) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\alpha = 10-18 \text{ kJ/m}^2$; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha) $60-80^\circ\text{C}$; sovuqqa chidamliligi $(50-60)^\circ\text{C}$; $\rho_v = 10^{10}-10^{11} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\varepsilon = 3,6$; $\text{tg}\delta = 6 \cdot 10^{-2}$; $E_m = 15-18 \text{ MV/m}$.

Organik shisha suyultirilgan kislota va ishqorlar, shuningdek, benzin va mineral moylar ta'siriga chidamli bo'ladi. U aromatik uglevodorodlarda (benzol, toluol, ksilolda), xlorlangan uglevodorodlarda (xlorbenzol, trixlorbenzol va boshqalarda), aseton va ba'zi boshqa erituvchilarda eriydi. Qizdirilgan holatda ($115-135^\circ\text{C}$) organik shisha po'lat yoki yogoch press-qoliplarda oson qoliplanadi. Qizdirilgan materiallarni vakuum ostida qoliplash eng yaxshi natija beradi.

Organik shishaga turlicha mexanikaviy ishlov berish (parmalash, frezalash va hokazo) mumkin. Organik shishani timalishidan saqlash uchun unga mexanikaviy ishlov berishda oldindan qog'oz yopishtirib qo'yiladi. Organik shishadan yasalgan detallar dixloretanli yelim yordamida oson yelimlanadi. Bu yelim organik shisha qirindilarini dixlorenganda (100 g dixloretanga 5 g qiryndi) eritish yo'li bilan olinadi. Yelimlanadigan sirtlarni yaxshilab bir-biriga moslash va erituvchi (aseton va boshqalar) bilan yuvish lozim. Yelimlangan joyga $2-4$ soat biror narsa bostirib qo'yiladi. Organik shishani va undan yasalgan buyumlarni maxsus qurilmalarda $140-150^\circ\text{C}$ temperaturada payvandlanadigan sirtlarga bosim berish yo'li bilan ham payvandlash mumkin.

Kapron oq yoki och sariq rangli material. U ham sintetik material bo'lib; kaprolaktam — suyuqlanish temperaturasi 70°C bo'lgan kukunsimon moddani polimerlash natijasida olinadi. Olingan polimer kapron avtoklav tubidagi teshik orqali ingichka lenta holida siqib chiqariladi. Bu lenta oqar suvli vannaga tushadi va kapronning xossalarini yomonlashtiradigan past molekular moddalardan yuvilib tozalanadi. Yuvilgan va suvda sovigan kapron lenta kesish mashinasiga o'tadi va uzunligi 10 hamda qalinligi $2-3 \text{ mm}$ li bo'laklarga bo'linadi. Olingan bo'lakchalar yana iliq suvda yuviladi, so'ngra quritiladi. Quritilgan kapron bo'lakchalari rezina qoplarda saqlanadi va tashiladi, chunki u havodan namlikni yutishi mumkin.

Polietilendagi singari, kapron tarkibida ham kristall va amorf fazalar biri-biri bilan aralashgan bo'ladi, shu sababli kapronning suyuqlanish temperaturasi aniq ifodalangan (215°C) bo'ladi. U mog'or zamburug'lariga qarshi chidamli, lekin atmosfera ta'siriga chidamsizdir. Kapronning atmosfera ta'siriga chidamliligini oshirish uchun unga stabilizatorlar qo'shiladi ($0,3-0,5\%$).

Kapronning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1140 kg/m^3 ; $\delta_{\text{ch}} = (500-700) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $b = 100-150 \text{ kJ/m}^2$; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha)

50—60°C; suv singdiruvchanligi 3,0 % mas; $\rho_v = 10^{11} - 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon = 4,0$; $\text{tg}\delta = 0,04$; $E_m = 18 - 20 \text{ MV/m}$.

Boshqa polimer materiallarda bo'lganidek, kapronda ham doimiy yuklama ta'siridan asta-sekin deformatsiyalanish (sovuq holda oquvchanlik) kuzatiladi. Agar deformatsiyalanish 3 %ga qadar bo'lsa, yuklama olingandan keyin deformatsiya yo'qoladi.

Elektr izolatsiyada kapron toladan foydalaniladi. U yumshatilgan kapron smolasini fileralar (diametri 0,1 mm va undan kichik bo'lgan yumaloq teshiklar) orqali tortish yo'li bilan olinadi. Kapron tolaning mexanikaviy puxtaligi katta va yedirilishga juda chidamli bo'ladi. U chulg'am simlari va montaj simlarining ba'zi tiplarida izolatsiya sifatida, shuningdek, loklangan elektr izolatsion to'qimalarda asosiy material sifatida ishlatiladi.

Kapron massasi kichik bo'lgan elektromontaj va konstruksion detallar ishlab chiqarishda ancha ko'p ishlatiladi.

2.10. Qattiq polikondensatsion dielektriklar

Polikondensatlanish—bu bir necha boshlang'ich moddalar (monomerlar) molekularining yuqori polimer moddaning katta molekulari tarzida birikish protsessidir. Polikondensatlanish reaksiyasi, odatda, bir necha bosqichda bo'ladi.

Polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olingan dielektrikning elektr izolatsion xossalari polimerlanish natijasida olingan dielektriklarnikiga qaraganda birmuncha pastroq bo'ladi. Buning asosiy sababi polikondensatsion dielektriklarda qo'shimcha moddalar — suv va kislotalarning bo'lishidir, ular ionlarga parchalanib, materialning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi. Polikondensatsion dielektriklardan elektrotexnikada eng ko'p ishlatiladigan rezol, novolok, poliefir va epoksid smolalardir.

Rezol smolalar termoreaktiv moddalar bo'lib, ular o'zining oxirgi bosqichida qizdirilganda yumshamaydi. Rezol smolalar suyuqlanmaydigan va erimaydigan holatga uch bosqichda o'tadi. Yangi olingan smola dastlabki A bosqichda bo'ladi (rezol). U qizdirilganda yumshaydi va erituvchilarda eriydi. Yanada qizdirilganda rezol smola V bosqichga o'tadi, bu bosqichda ham u yumshashi mumkin (95°C da), lekin erituvchilarda erimaydi. Keyingi qizdirishda smola oxirgi S bosqichga o'tadi. Bu bosqichda rezol smola ucho'ldamli katta molekularlardan iborat bo'ladi va suyuqlanmaydi ham, erimaydi ham. Termoreaktiv plastmassalar (getinaks, tekstolit va boshq.) ishlab chiqarishda rezol smolalarning ana shu xossasidan foydalaniladi.

Rezol smolalardan elektrotexnikada eng ko'p ishlatiladigani bakelit smola (bakelit)dir. U kristall holdagi fenol (C_6H_5-OH) bilan formalin (formaldegid CH_2O gazning suvdagi 40 % li eritmasi) orasida boradigan polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadi; bu reaksiya ishqoriy katalizator — bariy gidroksid yoki ammoniy gidroksid NH_4OH ning suvdagi 25 %li eritmasi ishtirokida sodir bo'ladi. Formaldegid ortiqcha miqdorda olinadi.

Bakelit smola olish uchun muayyan miqdordagi komponentlar (fenol, formalin va katalizator) reaktorga solinadi va u yerda aylanuvchi qorgich yordamida aralashtiriladi. So'ngra aralashma $95^{\circ}C$ gacha qizdiriladi. Bu temperaturada polikondensatlanish reaksiyasi boshlanadi, natijada, reaktorning pastki qismida jigarrang tusli qiyomsimon quyuq massa hosil bo'ladi. Bu birinchi A bosqichdagi bakelit smolasidir. Vakuumda ($60^{\circ}C$ da) quritilgandan keyin smola metall tovalarga quyiladi.

Xona temperaturasigacha sovitilgan bakelit smola jigarrang qattiq mo'rt moddadan iborat bo'ladi. U plastmassalarda bog'lovchi modda sifatida, shuningdek, bakelitli loklar olish uchun ishlatiladi. Spirtli bakelit loki olish uchun A bosqichdagi quritilgan smolani eritish maqsadida lok pishirish qozoniga etil spirt quyiladi. Odatda, tarkibida 50—60 % bakelit smola bo'ladigan lok olinadi.

Etil spirtni tejash maqsadida tarkibida 15—20 % suv bo'lgan suyuq suvli—emulsion bakelit smolalar keng ko'lamda ishlatiladi. Qatlamli elektr izolatsion materiallar — getinaks, tekstolit, shisha tekstolit va boshqalar ishlab chiqarish uchun tolali asosga (qog'oz, gazlama) spirtli loklar va suyuq smolalar shimdiriladi.

Agar kristall fenol o'rniga krezol (suyuq modda) olinsa va krezol bilan formaldegid o'zaro polikondensatlansa, krezol-formaldegid smola olinadi. Bu smola ham rezol smolalar jumlasiga kiradi. Uning elektr izolatsion xossalari ancha yuqori bo'ladi.

Rezol smolalarning hammasi qutblangan dielektriklar hisoblanadi, shu sababli ularning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon=5-6$ bo'ladi. Oxirgi S bosqichdagi rezol smolalar mineral moylar va suv ta'siriga chidamli, lekin elektr uchqunlar ta'siriga chidamsiz bo'ladi. Uchqun razryadlar ta'sirida rezol smolalarning sirti uglerodga oson boyiydi, natijada, uglerodlangan tok o'tkazuvchi yo'laklar vujudga keladi. Shu sababli rezol smolalar asosida tayyorlangan plastmassa buyumlarni kuchli elektr uchqunlar paydo bo'lish ehtimoli bor joylarda ishlatish tavsiya etilmaydi.

Novolok smolalar (novoloklar) rezol smolalar singari fenol bilan formaldegidning polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadi, lekin

bunda formaldegid yetishmaydigan (kam) miqdorda bo'ladi. Bunda xlorid kislotada katalizator sifatida ishlatiladi.

Olingan novolok smola och jigarrang quyuq massa bo'lib, u qaynoq holda tovalarga quyiladi. Novolok smola soviganda etil spirtida va asetonda eriydigan qattiq mo'rt moddaga aylanadi. Novolok smolalarning elektr izolatsiya xossalari rezol smolalarnikidan past bo'ladi.

Novolok smolalar termoplastik moddalardir. Ular uzoq vaqt saqlanganda va hatto 200°C gacha qizdirilganda ham suyuqlanuvchanligini va eruvchanligini saqlab qoladi. Qizdirilgan novolok smolalariga urotropin (CH_2) M_4 ta'sir ettirib, suyuqlanmaydigan va erimaydigan holatga o'tkazish mumkin. Bundan novolok smolalar asosida tez presslanadigan plastmassalar olishda foydalaniladi. Buning uchun kukunsimon novolok smolaga 15—20 % urotropin (oq kukun) qo'shiladi. Olingan aralashmadan qizdirilgan po'lat press qoliplarda past kuchlanishda ishlaydigan elektr apparatlar uchun detallar (vikluchatellarning, patronlarning asosi va qopqoqlari), shuningdek, konstruksion detallar (knopkalar, dastalar va boshqalar) presslab olinadi.

Gliftal smolalar (gliftallar)* ko'p atomli spirtlar (glikol, glitserin va boshqa bilan organik kislotalarni (ftal, malein va boshqa kislotalarni) polikondensatlash orqali olinadigan poliefir smolalar gruppasiga kiradi.

Gliftal smolalar glitserin bilan ortiqcha miqdorda olingan ftal angidridining polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadi.

Yetarli darajada egiluvchan qilish uchun gliftal smolalar modifikatsiyalanadi, ya'ni polikondensatlanish jarayonida ularga yog' kislotalari va o'simlik moylari, masalan, kanakunjut moyi qo'shiladi. Gliftal smolalarning boshqalardan farq qyladigan xususiyati ularning elektrik xarakteristikalari yaxshi bo'lgani holda yopishish xususiyatining kuchliligi, sirtga ta'sir qiluvchi razryadlarga va 130°C gacha qizdirishga chidamliligidir (V sinf).

Elektrotexnikada gliftal smolalar yopishtiruvchi, shimdiriladigan va qoplash loklari uchun asos sifatida ishlatiladi, ularning pardalari qurigandan (pishirilgandan) keyin qizdirilgan mikeral moy ta'siriga chidamli bo'lib qoladi.

Yelimlanadigan gliftal loklar qattiq va elastik sludali izolatsiya (mikanitlar, mikalentlar) ishlab chiqarishda sludani yelimlash uchun ishlatiladi.

Lavsan kristall yoki amorf tuzilishli tiniq yuqori polimer dielektrik. Gliftallar singari u ham poliefirlar jumlasiga kiradi. Kristall tuzilishli lavsan sreftal kislota bilan etilenglikolning polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadi. Undan tayyorlangan qalinligi 30—100 mkm li tiniq lavsan plyonkalar elektr mashinalarda pazlarni izolatsiya

qilish uchun keng ko'lamda ishlatiladi. Ko'pincha lavsan plyonka elektrotexnik kartonga yopishtiriladi va shu holda elektr mashinalarda paz izolatsiyasi sifatida ishlatiladi. Lavsan plyonkalar loklar tarkibida bo'ladigan erituvchilar, shuningdek, mog'or zamburug'lari va namlik ta'siriga chidamli bo'ladi, shu sababli tropik iqlimda ishlatishga mo'ljallangan elektr mashinalari va apparatlarida qo'llanishi mumkin. Lavsan plyonkalar 120°C dan oshmaydigan temperaturalarda uzoq vaqt davomida ishlashi mumkin (qizdirishga chidamlilik E sinfi).

Lavsan plyonkalarining elektr mustahkamligi ancha katta bo'lishi bilan birga ular elektr toj ta'siriga chidamsiz bo'ladi. Shu sababli ularning ishlatilish sohasi past kuchlanishda ishlaydigan elektr uskunalar bilan cheklanadi. Transformator moyida $110-120^{\circ}\text{C}$ da uzoq vaqt turganida mo'rt bo'lib qoladi.

Lavsanning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1400 kg/m^3 ; issiqbardoshligi $70-75^{\circ}\text{C}$; sovuqqa chidamliligi -60°C ; suv singdiruvchanligi $1,5 \%$ mas.; $\rho_{\text{ch}}=(1800-2000) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho_v=10^{12}-10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon=3,5$; $\text{tg}\delta=(2-6) \cdot 10^{-3}$; $E_m=130-150 \text{ MV/m}$.

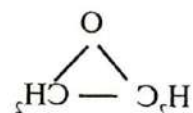
Epoksid smolalar qiyomsimon suyuqliklar yoki sariq yoxud och jigarrang tusli qattiq moddalardir. Suyuq epoksid smolalar past molekular moddalar hisoblanadi, lekin molekular massasi katta (1000 dan katta) epoksid smolalar qattiq moddalardir.

Epoksid smolalar xlorlangan glitserinning rezorsin skidian (difenilolpropan) bilan polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadi. Smola hosil bo'lish protsessi ishqoriy muhitda boradi. Epoksid smolalar molekularida epoksid gruppalar deyiladigan gruppalar bo'ladi, bu smolalarning nomi ham ana shundan olingan.

Epoksid smolalar elektrotexnikada quyiladigan elektr izolatsion kompaundlarning asosi, shuningdek, yelimlovchi lok va yelimlar sifatida ishlatiladi. Epoksid kompaundlarning afzalligi qotish paytida ular hajmining juda kam ($0,6-1,0 \%$) kichrayishidir. Bundan tashqari, qotgan epoksid smolalarning mexanikaviy mustahkamligi katta va suv ta'siriga chidamli bo'ladi.

Qotirgichlar sifatida malein va ftalq kislotalarning angidridlari va boshqa moddalar (piridin va h. k.) ishlatiladi. Ishlatilgan qotirgichning tarkibiga

qarab suyuq epoksid smola $100-160^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilganda yoki xona temperaturasida qotishi mumkin.



Qotgan holatdagi epoksid smolalarning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1200 kg/m^3 ; $\rho_{\text{ch}}=(300-600) \cdot 10^5$

N/m^2 ; $\alpha=8-18 \text{ kJ/m}^2$; suv singdiruvchanligi $0,05 \%$ mas.; issiqbardoshligi (Martens bo'yicha) $100-110^{\circ}\text{C}$; $\rho_v=10^{12}-10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon=3,8$; $\text{tg}\delta=(2-5) \cdot 10^{-3}$; $E_m=20-25 \text{ MV/m}$.

2.11. Qizdirishga chidamli yuqori polimer dielektriklar

Yuqorida ko'rib chiqilgan yuqori polimer organik dielektriklardan uzoq muddat 90—105°C ga qadar temperaturada va ba'zilaridan, masalan, gliftal smolalardan 130°C ga qadar temperaturada foydalanish mumkin. Shunday qilib, organik dielektriklarning juda ko'pchiligi 90—105°C dan oshmaydigan temperaturalarda uzoq vaqt ishlashi mumkin (qizdirishga chidamlilik sinfari Y va A). Temperatura ko'rsatilgan darajadan ortib ketganda organik dielektriklar issiqlik ta'sirida eskiradi va tez yemiriladi.

Anorganik moddalardan tayyorlangan elektr izolatsion materiallarning, masalan, elektrokeramik materiallarning (chinni, steatit) issiqqa chidamliligi yuqori bo'ladi, lekin ulardan izolatsiyaning egiluvchan turlarini tayyorlab bo'lmaydi. Tekshirishlar shuni ko'rsatadiki, yuqori polimer organik dielektriklarning qizdirishga chidamliligi pastligiga, asosan, organik dielektriklar molekularining asosini tashkil etuvchi uglerod atomlari orasidagi kimyoviy bog'lanish energiyasining nisbatan kichikligi sabab bo'ladi. Masalan, uglerod-uglerod (C—C) atomlari orasidagi kimyoviy bog'lanish energiyasi 58,6 kkal/molga teng.

Foydalanish jarayonida dielektriklar issiqlik Energiasini kimyoviy bog'lanish energiasidan katta bo'ladigan temperaturaga qadar qizib ketsa, issiqlikdan eskiradi, ya'ni yemiriladi. Bog'lanish energiyasi yanada katta molekullardan tarkib topgan dielektriklarning yangi turlarini izlash zarur edi.

Juda ko'p tadqiqotlar natijasida yangi kremniy-organik yuqori polimer dielektriklar ishlab chiqildi*.

Bu dielektriklar molekularining asosini atomlarning silaksan gruppasi —Si—O—Si— tashkil etadi, uning bog'lanish energiyasi 89,6 kkal/molga teng. Shu sababli kremniy-organik dielektriklar yuqorida ko'rib o'tilgan organik dielektriklarga nisbatan qizdirishga ancha chidamli bo'ladi.

«Kremniy-organik dielektriklar» deb atalashiga sabab ularning molekulari tarkibiga kremniy va kislorod atomlaridan tashqari turli xil organik birikmalar: CH_3 , C^+H_5 , C_6H_5 va boshqalarning qoldiqlari ham kiradi. Bu organik qoldiqlar *organik radikallar* deyiladi va $\cdot$ harfi bilan belgilanadi. Umumiy holda kremniy organik yuqori polimer dielektriklarning molekulasini quyidagicha tasvirlash mumkin:

Qanday organik radikallar biriktirib olinganligiga va ularning bir atom kremniyga to'g'ri keladigan soniga qarab suyuq, kauchuksimon va qattiq dielektriklar olinishi mumkin. Bular rangsiz moddalar yoki och sariqdan jigir rang tushgacha bo'lgan moddalardir. Barcha kremniy-organik dielektriklarning boshqalardan farq qiluvchi xususiyati ularning qizdirishga va sovuqqa chidamliligining yuqoriligidir. Kremniy-organik elektr izolatsion

materiallar (plastmassalar, rezinalar, loklar va boshqalar) —60 dan 180°C gacha, ulardan ba'zilar esa 220°C gacha temperaturalar oralig'ida uzoq vaqt ishlashi mumkin. Bundan tashqari, kremniy-organik dielektriklar suz, mineral moylar, shuningdek, elektr uchqun razryadlari ta'siriga nihoyatda chidamliligi bilan ajralib turadi. Bu dielektriklar mineral moylarda erimaydi va elektr uchqunlari ta'sirida uglerodlanib qoladi.

Kremniy-organik dielektrik-larning elektrik xarakteristikalarini yuqori darajada bo'lib, qizdirilganda va suv ta'sir ettirilganda kam o'zgaradi (19-rasm). Ularning elektrik xarakteristikalarini quyidagicha:

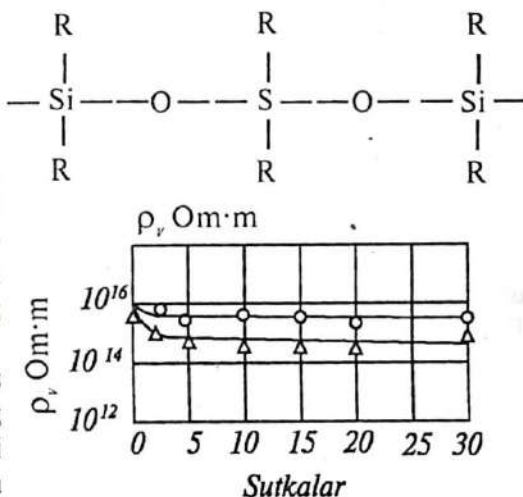
$\rho_v = 10^{14} - 10^{15} \text{ Om} \cdot \text{m}$; $\epsilon = 2,6 - 3,5$; $\text{tg} \delta = 0,0003 - 0,005$; $E_m = 30 - 55 \text{ MV/m}$ (lok pardalarida $E_m = 80 - 120 \text{ MV/m}$).

Kremniy-organik materiallar kuchsiz qutblangan dielektriklar hisoblanadi.

Ftoroplast—4. Qattiq yuqori polimer material-ftoroplast-4ning olinishi qizdirishga chidamli dielektriklar ishlab chiqish sohasidagi katta yutuq bo'ldi. Bu yonmaydigan, ushlab ko'rilganda yog'idek tuyuladigan oq rangli materialdir.

U suyultirilgan (siqilgan) gaz—tetraftoretillen $\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$ ni polimerlash natijasida olinadi. Hosil bo'lgan polimer yumshoq kukun bo'lib, undan presslash (po'lat presslarda) yo'li bilan turli xil buyumlar tayyorlanadi. Zich yaxlit material hosil qilish uchun xona temperaturasida presslangan buyumlar pechlarda pishiriladi. 370°C gacha qizdirilgan buyumlar tez sovutilganda material amorf tuzilishga ega bo'ladi, sekin sovutilganda esa u mikrokristall strukturali bo'lib qoladi. Mikrostrukturali materialga ishlov berish oson va uning xossalari barqaror bo'ladi.

Ftoroplast—4 ning o'ziga xos asosiy xususiyati uning qizdirishga nihoyatda chidamliligi (250°C) va sovuqqa chidamliligidir (—269°C). 327°C gacha qizdirilganda (o'tish nuqtasi) uning kristall strukturasi amorf strukturaga o'tadi va material tiniq bo'lib



19-rasm. Kremniy-organik lok pardasi solishtirma hajmiy qarshiligining 180°C temperaturada va suvda qancha vaqt bo'lishiga bog'liqligi:

1—180°C da tutib turish; 2—suvda tutib turish.

qoladi. 415°C gacha qizdirilganda material yumshamaydi, lekin uning termik parchalanishi boshlanadi va zaharli modda bo'lgan erkin fluor ajralib chiqib boshlaydi.

Ftoroplast—4 qizdirishga ancha chidamdiligining asosiy sababi uning molekulasidagi uglerod bilan fluor atomlari orasidagi kimyoviy bog'lanish energiyasining kattaligidir (107 kkal/mol). Ftoroplast—4 nihoyatda kimyoviy barqarorligi bilan ham ajralib turadi. U xona temperaturasida ham, qizdirilganda ham erituvchilarning hech birida erimaydi; unga konsentrlangan kislotalar va ishqorlarning hech qaysisi ta'sir etmaydi. Ftoroplast—4 ning suv singdiruvchanligi nolga teng va u suvda ho'llanmaydi.

Ftoroplast—4 ning asosiy xarakteristikalar: zichligi 2100 kg/m³; $\delta_{ch} = (140-250) \cdot 10^5$ N/m²; $\alpha = 100-130$ kJ/m²; $\rho_v = 10^{15}-10^{17}$ Ohm·m; $\epsilon = 2,0$; $tg\delta = (2-4) \cdot 10^{-4}$; $E_m = 30$ MV/m (plyonkalamiki $E_m = 100-180$ MV/m).

Ftoroplast—4 qutblanmagan dielektrik, shu sababli uning elektrik xarakteristikalar keng chastotalar oralig'ida o'zgarib bo'ladi. Yupqa (10 dan 200 mkm gacha) plyonkalari elektrotexnikada ko'p ishlatiladi.

Ftoroplast—4 ning salbiy xususiyati uning xona temperaturasida oquvchanligidir, ya'ni u materialda $130 \cdot 10^3$ N/m² va undan katta kuchlanish bo'lganida deformatsiyalana boshlaydi. Shu sababli ftoroplast—4 dan tayyorlangan buyumlarga $130 \cdot 10^5$ N/m² dan ortiq zo'riqish paydo qiladigan mexanikaviy yuklamalar qo'yib bo'lmaydi.

Sanoatimizda ftoroplast—4 bilan birga bu dielektrikning boshqa turlari: ftoroplast—4D, ftoroplast—40 va boshqalar ham ishlab chiqariladi. Ular ftoroplast—4 dan kukunsimon massa zarrachalarining shakli, o'lchamlari va shu tipdagi ftoroplastlarni buyumlarga aylantirish imkoniyatlari ancha kengligi bilan farq qiladi. Ftoroplast—4D bilan ftoroplast—40 ning mexanikaviy va elektrik xarakteristikalar qiymatlari ftoroplast—4 inng tegishli xarakteristikalaridan kam farq qiladi.

Poliamidlar—qizdirishga chidamli yangi organik dielektriklar bo'lib, ulardan 200—220°C temperaturalarda uzoq vaqt foydalanish mumkin. Poliamid elektr izolatsion buyumlardan (plastmassalardan) —155°C gacha va undan ham past temperaturalarda foydalanish mumkin, poliamid elektr izolatsion plyonkalari esa past temperaturalarda (—190°C) buzilmasdan uzoq vaqt tura oladi. Poliamidlar kimyoviy barqaror dielektriklardir. Ular ko'pgina organik erituvchilarda erimaydi, ularga suyultirilgan kislotalar, mineral moylar va suv ta'sir etmaydi. Konsentrlangan kislotalar, ishqorlar va o'ta qizigan suv bug'i poliamidlarni parchalaydi.

Poliamidlar piromellit kislotalar angidridi bilan ba'zi aromatik birikmalar—diaminlarning polikondensatlanish reaksiyasi natijasida olinadigan dielektriklardir. Poliamidlar asosida chulg'am simlarni emallash

uchun emal-loklar tayyorlanadi. Bu simlar 220°C gacha bo'lgan temperaturalarda uzoq vaqt ishlay oladi.

Poliamidlardan och sariq yoki jigar rang tusli egiluvchan yarim tipik elektr izolatsion plyonkalar olinadi. Poliamid plyonkalar 5 dan 100 mkm gacha va undan ham ortiq qalinlikda ishlab chiqariladi.

Plyonkalarining asosiy xarakteristikalar: $\delta_{\text{ch}} = (1000 - 1200) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho_v = 1015 \text{ Om} \cdot \text{m}$; $E_m = 100 - 150 \text{ MV/m}$ Plyonkalarining suv singdiruvchanligi ancha katta bo'lib, 20°C li suv bug'larida 24 soat turganda o'rtacha 1% ni tashkil etadi, shu sababli poliamid izolatsiyali chulg'am simlarga qizdirish va suv ta'siriga chidamli loklar shimdirish lozim.

Qoplanadigan poliamid plyonka simga poliamid yelimlovchi lok yordamida yopishtiriladi.

Poliamid plyonkalar qizdirishga chidamli elektr mashinalarda paz izolatsiyasi sifatida ham ishlatiladi.

Termoplastik poliamidlar asosida elektr izolatsiya va konstruksion maqsadlarda ishlatiladigan turli xil plastmassa buyumlari tayyorlanadi. Buning uchun sof poliamidlar ham, shisha tola va boshqa qizdirishga chidamli to'ldirgichlar qo'shilgan poliamidlar ham ishlatiladi. Poliamidlardan buyumlar quyish va $350 - 400^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda presslash yo'li bilan tayyorlanadi.

Poliamid plastmassalarning boshqalardan farq qiluvchi o'ziga xos xususiyatlari poliamidlarning oquvchanligi katta bo'lganligi sababli ularni qayta ishlab buyumlarga aylantirishning osonligi, hajmiy kichrayishi kamligi va qayta ishlashda xossalarning o'zgarmasligidir.

Poliamid plastmassalarning qizdirishga chidamliligi yuqori ($220 - 250^{\circ}\text{C}$), elektrik xarakteristikalar yaxshi va mexanikaviy xarakteristikalarining qiymati katta bo'ladi. Masalan, to'ldirgichlar qo'shilmagan poliamidlarning zarbiy qovushqoqligi $\alpha = 35 - 50 \text{ kJ/m}^2$ ga, to'ldirgich sifatida shisha tola qo'shilganlariniki esa $\alpha = 110 - 130 \text{ kJ/m}^2$ ga teng.

Poliamid plastmassa buyumlarining suv singdiruvchanligi suvda 24 soat davomida qaynatilgandan keyin 0,8 %dan oshmaydi. Poliamidlar asosida olingan plastmassalarning hammasi radiasiya ta'siriga nihoyatda chidamli bo'ladi.

2.12. Lok va emallar

Loklar parda hosil qiluvchi biror moddaning maxsus tanlab olingan organik erituvchidagi kolloid eritmalaridan iborat.

Parda hosil qiluvchi moddalar jumlasiga smolalar (tabiiy va sintetik), quriydigan o'simlik moylari, selluloza efirlari va boshqalar kiradi. Parda hosil qiluvchi moddalarning erituvchilari sifatida oson bug'lanadigan

(uchuvchan) suyuqliklar: benzol, toluol, ksilol, spirtlar, aseton, skipidar va boshqalar ishlatiladi.

Quyuvlashib qolgan loklarni suyultirish uchun ularga suyultirgichlar qo'shiladi, bu moddalar erituvchilardan kam bug'lanuvchanligi bilan farq qiladi. Suyultirgichlar sifatida benzin, lokkerosini, skipidar vaba'zi boshqa suyuqliklar ishlatiladi.

Lok tartibiga plastifikatorlar va sikkativlar ham kirishi mumkin.

Plastifikatorlar—lok pardasiga elastiklik beradigan moddalardir; ular jumlasiga kanakunjut moyi, zig'ir moyidagi yog' kislotalari va boshqalar kiradi.

Sikkativlar ba'zi loklarga ularning qurishini tezlatish uchun qo'shiladigan suyuq yoki qattiq moddalardir.

Biror sirtga surtilgan lok qatlami qotishida uning tarkibidagi organik erituvchilar uchib ketadi (bug'lanadi), parda hosil qiluvchi moddalar esa polimerlanish protsesslari natijasida qattiq lok pardasini hosil qiladi. Bu parda lok asosini tashkil etuvchi parda hosil qiladigan moddalarning xossalriga qarab elastik, elastikmas va mo'rt bo'lishi mumkin. Elektr izolatsion loklar ishlatilishiga ko'ra shimdiriladigan, qoplanadigan va yelimlovchi (yopishtiruvchi) loklarga bo'linadi.

Shimdiriladigan loklar elektr mashina va apparatlarda chulg'am o'ramlarini bir-biriga briktirish uchun chulg'amlarga shimdirish, shuningdek, chulg'am izolatsiyasidagi g'ovaklikni yo'qotish maqsadlarida ishlatiladi. Shimdiriladigan lok chulg'am izolatsiyasining g'ovaklariga kirib, u yerdan havoni siqib chiqaradi va o'zi qotganidan keyin chulg'amni namlik ta'siriga chidamli qiladi. Bunda chulg'am izolatsiyasining elektr mustahkamligi va uning issiq o'tkazish koeffitsiyenti ortadi. Shimdiriladigan loklarning asosiy xarakteristikalaridan biri ularning shimilish xususiyatidir. Lokning qovushqoqligi qanchalik kichik bo'lsa, uning shimilish xususiyati shunchalik katta bo'ladi.

Qoplama loklar lok shimdirilgan chulg'amlar sirtida namlik va moy ta'siriga chidamli qoplamalar hosil qilish uchun ishlatiladi. Qoplama loklar jumlasiga chulg'am simlarini emallash (sirlash) uchun ishlatiladigan emal loklar, shuningdek, elektrotexnika po'lat listlari va boshqa detallarni izolatsiyalash uchun ishlatiladigan loklar kiradi.

Yelimlovchi loklar turli xil elektr izolatsion materiallarni: sluda listlarini (qatlamli sluda izolatsiya ishlab chiqarishda), keramika, plastmassa va boshqalarni yelimlab bir-biriga yopishtirish uchun ishlatiladi. Yelimlovchi loklarga qo'yiladigan asosiy talablar shundan iboratki, bu loklar yaxshi yopishishi (adageziya) va puxta chok hosil qilishi kerak.

Barcha loklar qurish usuliga ko'ra ikki gruppaga bo'linadi: havoda (sovuqda) quriydigan loklar va pechda (issiqda) quriydigan loklar.

Havoda quriydigan loklarda lok pardasi xona temperaturasida qotadi. Ular jumlasiga shellokli, efir-sellulozali va ba'zi boshqa loklar kiradi.

Pechda quriydigan loklarda lok pardasi xona temperaturasidan ancha yuqori (100°C va undan yuqori) temperaturalaridagina qotishi mumkin. Pechda quriydigan loklarda termoreaktiv parda hosil qiluvchi moddalar (gliftal, rezol va boshqa smolalar) ishlatiladi, ularning qotishi yuqori temperatura talab qiluvchi polimerlanish protsesslari bilan bog'liq. Odatda, issiqda Quriydigan loklarning mexanikaviy va elektrik xarakteristikalari ancha yuqori bo'ladi

Elektr izolatsion emallar mayda tuyilgan moddalar—pigmentlar qo'shilgan loklardir.

Pigmentlar sifatida anorganik moddalar, asosan, metallarning oksidlari (rux oksid, temir surigi, litopon va boshqalar) hamda ularning aralashmalari ishlatiladi. Lokka qo'shilgan pigmentlovchi moddalar bo'yoq ezish mashinalarida bir jinsli massa hosil bo'lgunicha yaxshilab eziladi. Qotishi jarayonida emallar lok asosi bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi va juda qattiq zich qoplam hosil qiladi.

Elektr izolatsion emallar qoplama materiallar hisoblanadi. Ular yog'lash uchun ishlatiladigan moylar, namlik va boshqa ta'sirlardan himoya qilish uchun elektr mashina va apparatlar chulg'amlarining old qismlariga qoplanadi.

Ko'pchilik elektr izolatsion emallarning asosini yelimlash xususiyati va qizdirishga chidamliligi yuqori bo'lgan moyli-gliftalli loklar tashkil etadi. Moyli-gliftalli loklar asosida emallarning bir necha markalari tayyorlanadi; SPD — qizdirib (105°C) quritiladigan emal; bu emaldan qilingan qoplamalar kul rang tusli, mineral moylar va elektr uchqunlari ta'siriga chidamli bo'ladi; SVD—sovuq holda quritiladigan emal; u mineral moylar ta'siriga chidamli, kulrang tusli qoplamalar hosil qiladi; QVD—sovuq holda quritiladigan emal, elektr yoy ta'siriga chidamli qizil jigarrang tusli qoplamalar hosil qiladi.

Epoksid loklar asosida tayyorlangan emallar yaxshi yopishishi (adgeziya) va qizdirishga ancha chidamliligi (155°C gacha) bilan farq qiladi.

Kremniy-organik loklar asosida tayyorlangan, qizdirishga juda chidamliligi bilan ($180\text{--}200^{\circ}\text{C}$) ajralib turadigan elektr izolatsion emallar katta ahamiyatga ega.

2.13. Qog'oz va kartonlar

Ignabargli daraxtlar (qarag'ay, archa) yog'ochdan kimyoviy qayta ishlash yo'li bilan selluloza (yoki kletchatka) olinadi, u turli xil elektr izolatsion qog'ozlar va kartonlar tayyorlash uchun xomashyo hisoblanadi. Yog'och tarkibiga sellulozadan tashqari, lignin, smolasimon va boshqa moddalar ham kiradi, ular sellulozada qolib, qog'ozga mo'rtlik xususiyatini beradi va elektr izolatsion xossalarini kamaytiradi. Qog'ozlarda bu qo'shimchalar qanchalik kam bo'lsa, ular shunchalik pishiq, elastik bo'ladi va sekin eskiradi. Shu sababli yog'ochni kimyoviy qayta ishlab, elektr izolatsion qog'ozlar tayyorlashga mo'ljallangan sellulozaga aylantirishda asosiy vazifa yog'ochdan lignin smolalar va boshqa ifloslantiruvchi moddalarni batamom yo'qotib, texnikaviy toza selluloza olishdan iborat.

Kimyoviy qayta ishlashdan oldin yog'ochdan shox-butoqlari va chirigan joylari yo'qotiladi hamda maydalab, payraxaga aylantiriladi. Payraxalarni sellulozaga aylantirish uchun ular og'zi berk qozonlarda (avtoklavlarda) kislotali yoki ishqoriy moddalar—ximikatlarni ishlatib qaynatiladi. Payraxalar $150-175^{\circ}\text{C}$ temperaturada va $(7-9) \cdot 10^5$ Pa bosimda kislotali yoki ishqoriy muhitda qaynatiladi. Kislota qo'shib qaynatishda qozonga kalsiy bisulfit $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ning sulfit kislota N_2CO_3 dagi eritmasi, ishqor qo'shib qaynatishda esa o'yuvchi natriy NaOH bilan natriy sulfit Na_2C aralashmasi solinadi. Yog'ochni kislota qo'shib qaynatish natijasida sulfigli selluloza, ishqor qo'shib qaynatish natijasida esa sulfitli selluloza olinadi.

Elektr izolatsion qog'oz va kartonlarni tayyorlash uchun, asosan sulfatli sellulozadan foydalaniladi, u qog'ozning elektr, mexanikaviy va issiqlik xossalari yaxshi bo'lishini ta'minlaydi.

Qaynatilgandan keyin olingan selluloza suv bilan yuviladi, so'ngra pichoqlari bo'lgan aylanuvchan barabani bor maxsus vannalarda (rollarda) nam holida maydalanadi. Barabanning tubida do'nglik bo'ladi. Qaynatib tozalangan tolalar baraban pichoqlari bilan do'nglikning uchi orasiga tushib mayda qismlarga kesiladi va uzunligi bo'ylab ancha ingichka tolalarga ajraladi. Pichoqlar bilan do'nglikning uchi orasidagi tirqishning kattaligiga qarab mayin yoki dag'al tolalar olinadi. Mayin tola olish uchun o'tmas pichoqlar vanna tubidagi do'nglik uchidan uzoqroq qilib o'rnatiladi. Natijada, selluloza ingichka tolalarga ajraladi, xolos. Shunday qilib, mayin maydalashda (tola olishda) tolalar mexanikaviy jihatdan buzilmaydi, ularning kapillar kanallari esa yopiqligicha qoladi. Dag'al maydalangan selluloza olish uchun o'tkir pichoqlar ishlatiladi. Pichoqlar bilan do'nglik orasidagi masofa avvalgidan kichik bo'ladi. Bunda selluloza tolalari, asosan ko'ndalangiga qirqiladi, natijada ichki kanallari ochilib qoladi.

Mayin maydalanganda uzun va ingichka tolalar olinadi. Mayin qilib maydalangan sellulozadan tayyorlangan qog'oz juda elastik va mexanikaviy mustahkam bo'ladi. Dag'al maydalanganda kalta va yo'g'on tolalar olinadi, ular qog'ozning g'ovak, mexanikaviy mustahkamligi kam, shuningdek, suv va boshqa suyuqliklarni oson yutadigan bo'lishiga sabab bo'ladi.

Maydalaingan selluloza qog'oz massa deyiladi. Qog'oz tayyorlash uchun massa qog'oz mashinasining harakatlanib turadigan metall to'riga uzatib beriladi, to'r sirtida uni metall valiklar siqadi. Bunda suvi siqilib to'r orqali tushib ketadi, massa esa qog'oz polotno shaklini oladi va movut lentaga o'tadi. Bu yerda qog'oz polotnosi sovuq valeslar bilan eziladi, so'ngra qizdirilgan cho'yan valeslar sistemasi orqali o'tadi; shundan keyin sovuq valeslar sistemasi bilan siqiladi va rulon qilib o'raladi.

Qog'ozlarning namligi 5—9 % atrofida bo'ladi. Qog'ozning namligi ortishi bilan uning elektr izolatsion xossalari va mexanikaviy mustahkamligi ancha yomonlashadi. Zichligi, cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi, shuningdek, havo o'tkazuvchanligi qog'ozning muhim xarakteristikalari hisoblanadi. Havo o'tkazuvchanlik deganda yuzasi 10 sm^2 bo'lgan qog'oz namunasi orqali $9 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ vakuumda bir minutda o'tgan havoning hajmi (millilitrlarda) tushuniladi. Ravshanki, eng zich qog'ozlarning havo o'tkazuvchanligi kam, va binobarin, kapillar g'ovaklarining o'lchamlari kichik bo'ladi. Masalan, kondensator qog'ozlarining havo o'tkazuvchanligi 3—5 ml/min, kabel qog'ozlariniki esa 20—25 ml/min bo'ladi.

Elektr izolatsion qog'ozlar kabel qog'ozlariga, kondensator qog'ozlariga, shimdiriladigan, o'rov, mikalent va burma qog'ozlarga bo'linadi.

Kabel qog'ozlari yuqori kuchlanishli kabellarning asosiy izolatsiyasini tashkil etadi. U kabelga o'ralgandan keyin elektr izolatsion moy shimdiriladi. Qog'oz lentalar kabel simiga tarang tortib o'raladi. Shu sababli kabel qog'ozining cho'zilishdagi mexanikaviy mustahkamligi ancha yuqori bo'lishi kerak. Bundan tashqari, tayyor kabelni joylashtirish paytida unga o'ralgan qog'oz egilishi mumkin va shu sababli egilish puxtaligi ham katta bo'lishi lozim.

Kabel qog'ozlarining mexanikaviy xossalari yaxshi bo'lishi uchun ular, asosan mayin qilib maydalangan sulfatli sellulozadan ishlab chiqariladi. Bundan tashqari, mayin qilib maydalangan sellulozadan tayyorlangan qog'ozning zichligi katta va g'ovakligi kam bo'ladi. Shimdiriladigan suyuq moddani (moy yoki moy-kankfolli tarkib) qog'oz yupqa parda va kanallarga ajratadi, bu esa uning elektr mustahkamligini oshiradi. Hech narsa shimdirilmagan kabel qog'ozning elektr puxtaligi 6—9 MV/m, transformator moyi shimdirilganiniki esa 70—80 MV/m bo'ladi.

Kabel qog'ozi 35 kV, 110 kV va 220 kV gacha kuchlanishga mo'ljallangan kabellarning simlarini izolatsiya qilish uchun ishlab chiqariladi.

Kabel qog'ozlarining aytib o'tilgan gruppalari bir-biridan qatlamlarining soni, qalinligi, hajmiy massasi, havo o'tkazuvchanligi va boshqa xarakteristikalarini bilan farq qiladi.

K markali (R-080; K-120; K-170) va KV markali (KV-030; KV-045; KV-080; KV-120; KV-170; QV-240 kabel qog'ozlari) ikki qatlamli qilib chiqariladi, KM (KM-120; KM-170) va KVM markali (KVM-080; KVM-120; KVM-170) qog'ozlar esa uch va to'rt qatlamdan iborat bo'ladi. Ikki qatlamli qog'ozlarga nisbatan ko'p qatlamli qog'ozlarning egiluvchanligi, elastikligi katta, havo o'tkazuvchanligi kam va binobarin, elektr mustahkamligi katta bo'ladi. Zichligi 760—850 kg/m³.

Raqamlar qog'ozning mikronlar hisobidagi qalinligini ko'rsatadi, harflar esa quyidagilarni bildiradi: K—kabelniki. KV—yuqori voltli kabelniki, KVM—yuqori voltli kabelniki ko'p qatlamli; U—zichlashtirilgan.

Yuqorida aytib o'tilganlardan tashqari, KVV (qalinligi 0,15 mm dan 0,120 mm gacha) va KVMU (KVMU-080; KVMU-120) markali zich kabel qog'ozlari ham ishlab chiqariladi. Zich qog'ozlar zichligining yuqoriligi—1100 kg/m³, qalinligi kam o'zgarishi, havo o'tkazuvchanligi kamligi bilan ajralib turadi, bu esa mexanikaviy va elektrik xarakteristikalarining qiymatlari yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Zich kabel qog'ozlari 110 kV va undan yuqori kuchlanishlarga mo'ljallangan kabellarning simlarini izolatsiya qilish uchun ishlatiladi.

Barcha qog'ozlar gigroskopik material bo'lib, nam havoda tez namlanib qoladi, shu sababli qog'oz izolatsiya qo'yishga doir barcha ishlarni tevarakatdagi havo qat'iy mo'tadillangan sharoitda bajarish kerak. Suyuq dielektriklar shimdirishdan oldin kabellarning qog'oz izolatsiyasi uzoq vaqt quritiladi.

Kondensator qog'oziga suyuq dielektrik shimdirilgan bo'lib, qog'oz kondensatorlarda ishlatiladi. Bu qog'ozni tayyorlash uchun mayin qilib maydalangan eng toza sulfatli selluloza ishlatiladi. Bu qalinligi bir xil eng yupqa qog'ozlardir (ularning qalinligi 0,004 dan 0,030 mm gacha bo'ladi). Zichligi 1000—1250 kg/m³.

Ularning havo o'tkazuvchanligi katta emas (3—10 ml/min), bu ularning elektr mustahkamligi ancha kattaligini ko'rsatadi. Bu qog'ozlarning elektr mustahkamligi qalinligiga qarab 19 dan 65 MV/m gacha bo'ladi*.

Neftdan olinadigan kondensator moyi shimdirilgandan keyin kondensator qog'ozlarining elektr mustahkamligi ortadi va 250 dan 300 MV/m gacha oraliqda bo'ladi. Kondensator qog'ozlari tarkibida minimal

miqdorda tok o'tkazadigan zarrachalar (metallmaslar va boshqalar) bo'lib, ular qog'ozning elektrik xarakteristikalari yuqori darajada bo'lishini ta'minlaydi. Kondensator qog'ozlarining cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi $\delta_{ch} = 100 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga yetadi. Kondensator qog'ozini 12 dan 750 mm gacha bo'lgan bobinalar holida ishlab chiqariladi.

Modda shimdirilgan qog'oz qatlamli elektr izolatsion plastmassa—getinaks tayyorlash uchun mo'ljallangan. Bunday qog'oz sulfatli sellulozadan ishlab chiqariladi va qalinligi 0,09; 0,11 va 0,13 mm, zichligi esa $600\text{--}800 \text{ kg/m}^3$ bo'ladi. Shu sababli ularning havo o'tkazuvchanligi va shimish xususiyati boshqa qog'ozlarnikiga nisbatan yuqori bo'ladi, bu esa getinaks ishlab chiqarishda moddalarning yaxshi shimilishi uchun juda muhimdir.

O'rov qog'ozini transformatorlar va elektr apparatlar uchun silindrlar hamda izolatsiya trubkalari kabi elektr izolatsiya o'raladigan buyumlarni tayyorlashda ishlatiladi.

O'rov qog'ozini mayin qilib maydalangan oqartirilmagan sellulozadan ishlab chiqariladi, zichligi 750 kg/m^3 , qalinligi 0,05 dan 0,07 mm gacha, elektr mustahkamligi kamida 8 MV/m bo'ladi.

Elektr izolatsiya qilinadigan silindrlar tayyorlash uchun qog'ozning bir tomoniga elektr izolatsion lok qoplangan bo'lishi kerak.

Mikalenta qog'ozini sludali egiluvchan lenta tayyorlash uchun ishlatiladi, buning uchun mikalenta qog'oz polotnosiga sluda listlari yelimlanadi. Mikalenta qog'oz mikalentaning egiluvchanligini ta'minlashi, uning uzilishiga bo'lgan mexanikaviy mustahkamligini oshirishi va shu bilan birga mikalentaning elektrik xarakteristikalari pasaymasligi uchun yupqa bo'lishi zarur.

Qalinligi ortishi bilan qog'ozning elektr mustahkamligi kamayadi.

Loklar yaxshi va tez shimilishi uchun bu qog'ozning g'ovakligi ham katta bo'lishi kerak.

Mikalenta qog'oz tayyorlash uchun uzun tolali paxtadan foydalaniladi, bunda uning tolalari, asosan, qog'oz polotnosining uzunligi bo'ylab yo'naltiriladi. Bu qog'ozning katta mexanikaviy mustahkamligini ta'minlaydi: uning mustahkamligi qog'oz polotnosining uzunligi yo'nalishida $750\text{--}105 \text{ N/m}^2$, qog'ozning ko'ndalangiga esa $90\text{--}10^5 \text{ N/m}^2$ bo'ladi. Mikalenta qog'ozini 450 va 900 mm li rulonlar holida ishlab chiqariladi. Qog'ozning qalinligi $18\text{--}20 \text{ mkm}$ ($0,018\text{--}0,020 \text{ mm}$).

Burma (kreplangan) qog'oz transformator chulg'amlaridagi va moy to'ldirilgan boshqa elektr apparatlardagi shoxobchalarni va birlashtirilgan joylarni izolatsiyalash uchun ishlatiladi.

Bu qog'ozning sirtida qog'oz polotnosining bo'yiga perpendikular holda burmalar qilingan (gofrlangan) bo'ladi. Shu tufayli burma qog'oz

egiluvchan bo'ladi va bo'yiga yaxshi cho'ziladi (60 % cho'ziladi), bu esa chulg'amlarning shoxobchalarini va juda bukilgan tutashtirish simlarini izolatsiyalashga imkon beradi.

Burma qog'oz oqartirilmagan sulfatli sellulozadan tayyorlanib, qalinligi 0,17 mm (burmasiz) va 0,5 mm (burmasi bilan), zichligi 230 kg/m³ bo'ladi. Bu qog'oz eni 500 mm'li rulonlar holida ishlab chiqariladi.

Moyga chidamli qimmat turadigan lokli to'qimalar o'rnida elektr izolatsion burma qog'ozlar ishlatish tarmoqlar izolatsiyasining elektr mustahkamligini kamaytirmagani holda katta iqtisodiy samara berdi.

Elektr izolatsion kartonlar ham qog'ozlar tayyorlanadigan usulda tayyorlanadi, lekin ular qalin (0,1 dan 6,0 mm gacha) bo'ladi. Kartonlar tayyorlash uchun xomashyo sifatida sulfatli sellulozadan iborat massa yoki sellulozaning paxta tolasi bilan aralashmasi ishlatiladi (paxta tolasi kartonning mexanikaviy va elektr izolatsion xossalari yuqori bo'lishini ta'minlaydi). Kartonlar ishlab chiqarish protsessi qog'ozlar ishlab chiqarish protsessiga o'xshash bo'lsada, lekin boshqacharoq asbob-uskunalar ishlatiladi va karton polotnosi tayyorlash hamda oxirgi pardozi berishga doir qo'shimcha texnologik operatsiyalar bajariladi. Qalinligi 0,1 dan 0,8 mm gacha bo'lgan kartonlar eni 1015 mm gacha bo'lgan rulonlar holida, qalinligi 1 mm va undan qalin kartonlar esa turlicha—3,4 m gacha o'lchamdagi listlar holida ishlab chiqariladi.

Havoda ishlatish uchun mo'ljallangan, «havo kartonlari» deyiladigan kartonlar selluloza bilan paxta tolasining aralashmasidan tayyorlanadi. Ularni zichlash va silliqlash uchun po'lat valeslar orasida qo'shimcha ishlov beriladi. Ba'zi kartonlarga gigroskopikligini kamaytirish va ancha zich struktura hosil qilish maqsadida kanifol bilan kraxmal asosida tayyorlangan yelimlovchi moddalar qo'shiladi.

Moy to'ldiriladigan mashina va apparatlarda (transformatorlar va boshqalarda) ishlatiladigan, «moy kartonlari» deb ataladigan kartonlar sulfatli selluloza bilan paxta tolasi aralashmasidan tayyorlanadi, ularga valeslarda qo'shimcha ishlov berilmaydi. Ular birmuncha g'ovak strukturali bo'ladi, shu sababli moy yaxshi shimiladi.

Ochiq havoda ishlatiladigan kartonlar eni 1050 mm gacha va qalinligi 0,1 dan 3,0 mm gacha bo'lgan listlar va rulonlar holida chiqariladi. Bu kartonlarning zichligi 950—1250 kg/m³; cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi (8,5—13)·10⁵ N/m², elektr mustahkamligi qalinligiga qarab 8 dan 13 kV/m gacha bo'ladi. Havoda ishlatiladigan kartonlar past kuchlanishli elektr mashinalarida paz izolatsiyasi va o'ramlar orasini izolatsiyalash uchun ishlatiladi.

Moyda ishlatish uchun mo'ljallangan kartonlar qalinligi 0,5 dan 3 mm gacha chiqariladi, ularning zichligi 900—1200 kg/m³, cho'zilishdagi

mustahkamlik chegarasi $(4-6) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (ko'ndalang yo'nalishda), shimdirilgan holdagi elektr mustahkamligi 38—60 MV/m.

Fibra tarkibida paxta tolasi va yog'och sellulozasi (50 %dan) bo'lgan yelimlangan qog'ozdan tayyorlanadi. Qog'oz rux xloridning qizdirilgan (50°C gacha) eritmasi bor vannadan o'tkaziladi, so'ngra muayyan qalinlikkacha po'lat barabanga o'raladi. Qog'ozga rux xlorid eritmasi bilan ishlov berilganda uning sirtida yopishqoq modda hosil bo'ladi. Barabanga o'ralayotganda qog'oz listlari bir-biriga yelimlanib yopishadi va zich material—fibra hosil qiladi, u listlarga qirqiladi va presslanadi. Reaksiyaga kirishmay qolgan rux xloridni yo'qotish uchun fibra buyumlar (listlar, sterjenlar) konsentratsiyasi asta-sekin kamayib boradigan rux xlorid eritmaları bor katta idishlardan (chanalardan) o'tkaziladi. Oxirida fibra suv bilan yuvib rux xloriddan tozalanadi.

Fibraning zichligi 1150 kg/m^3 . Uning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi ancha yuqori bo'ladi: bo'ylama yo'nalishda $d_{ch} = (500-700) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ga, ko'ndalang yo'nalishda $(300-450) \cdot 10 \text{ N/m}^2$ ga teng.

Fibradan qalinligi 0,6 dan 20 mm gacha va undan ham qalin listlar, shuningdek, sterjen va trubkalar tayyorlanadi. Fibraga mexanikaviy ishlov berish oson: u arralanadi, parmalanadi, randalanadi va rezba o'yiladi. List holidayi fibra shtamplanadi, suv bilan yumshatilganda esa undan murakkab shaklli buyumlar qoliplash mumkin. Fibraning kamchiligi uning gigroskopligi va nam muhitda bo'lishidir. Qurigandan keyin fibra kirishadi, bu esa undan aniq detallar tayyorlashni qiyinlashtiradi. Uning elektrik xarakteristikalari yuqori emas: $\rho_v = 10^6-10^7 \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_m = 3,5-5,0 \text{ MV/m}$.

Elektrotexnikada FE markali fibra (elektrotexnikaviy fibra) past kuchlanishda ishlaydigan elektr uskunalarda elektr izolatsion material sifatida, masalan, namsiz sharoitda ishlatishga mo'ljallangan elektr mashinalarda paz ponaları va qistirmalar sifatida ishlatiladi. Fibra yuqori kuchlanishli razryadniklar tayyorlash uchun ishlatiladi, ularda fibrالى silindr devorlari elektr yoyi ta'sirida shiddatli ravishda gazlar ajratib chiqaradi. Naysimon razryadnik ichida gaz bosimi ortishi natijasida yoyning yonishi to'xtaydi.

2.14. Lokli to'qimalar, lenta va loklangan naylar

Lokli to'qimalar egiluvchan rulon materiallar bo'lib, elektr izolatsion lok shimdirilgan biror to'qimadan tarkib topadi. To'qimali asos sifatida ip gazlama, ipak gazlama, kapron va shisha (shishatoladan) gazlamalar ishlatiladi. To'qimali asosga shimdirilgan lok qotganidan keyin lokli gazlamada elastik parda hosil qiladi, u materialning elektr izolatsion

xossalarini oshiradi, to'qimali asos esa lokli to'qimaga mexanikaviy mustahkamlik beradi. Lokli to'qimalar past kuchlanishli elektr mashinalarda, shuningdek, transformatorlarda paz izolatsiyasi va o'ramlararo izolatsiya sifatida keng ko'lamda ishlatiladi. Bundan tashqari, lokli to'qimalar elektr apparatlar va asboblarda g'altaklarni hamda simlarning ayrim gruppalarini izolatsiyalash uchun ham ishlatiladi. Ko'pchilik hollarda lokli to'qimalar asosiga nisbatan 45° li burchak ostida qirqilgan lentalar holida foydalaniladi. Bunday lokli to'qima lentolari eng yaxshi elastiklikni ta'minlaydi, bu esa chulg'amlarning old qismlarini va profil shaklli bo'lgan tutashmalarni izolatsiyalashga imkon beradi.

Qanday to'qimali asos ishlatilganiga qarab lokli to'qimalar ip gazlamali, ipakli, kapronli va shishali (shishato'qimali) xillargabo'linadi.

Ip gazlamali lokli to'qimalarning asosi sifatida yupqa pishiq gazlamalar (perkal va boshqalar) ishlatiladi. Ipakli lokli to'qimalarning asosi esa tabiiy ipakdan to'qilgan yupqa ($0,04-0,08$ mm) gazlamalar bo'ladi. Mexanikaviy mustahkamligi yuqori bo'lgan elastik lokli to'qimalarning ba'zi xillari uchun kapron to'qimalar ishlatiladi. Qizdirishga juda chidamli lokli to'qimalar uchun elektr izolatsion shishalardan (ishqorsiz) tayyorlangan shisha to'qimalar ishlatiladi. Qizdirishga chidamli shisha to'qimalarga kremniy-organik loklar shimdiriladi, ularning pardalari 180°C gacha bo'lgan temperaturalarda ishlashi mumkin.

Ipak va kapron to'qimalarga ochiq rangli moyli loklar shimdiriladi. Ip gazlamalarga ochiq rangli moyli yoki qora moy-bitumli loklar shimdiriladi, ular lokli to'qimaning nam ta'siriga nihoyatda chidamli bo'lishini ta'minlaydi.

Moyli lok shimdirilgan ip gazlamali ipakli, kapronli va shishali lokli to'qimalar qizdirishga chidamliligi jihatidan A sinfiga kiradi, ya'ni ularni 105°C dan oshmaydigan temperaturalarda ishlatish mumkin. Kremniy-organik loklar shimdirilgan shishali lokli to'qimalar qizdirishga chidamliligi jihatidan N sinfiga (180°C) kiradi va nam ta'siriga hamda mog'or zamburug'lari ta'siriga juda chidamli bo'ladi.

Kremniy-organik tarkiblar shimdirilgan shisha lokli to'qimalar qizdirishga chidamli va tropik iqlimda ishlatishga mo'ljallangan elektr mashina va apparatlarda ishlatiladi.

Lok shimdirishdan oldin tolali to'qima-asoslar (shisha to'qimalardan boshqa) dazmollanadi. Buning uchun to'qima qizdirilgan po'lat valiklar (kalandrlar) orasidan o'tkaziladi, bunda to'qlarning hammasi to'qima sirtiga yopishib qoladi. Shundan keyin ko'p qavatli shimdirish mashinasida to'qimaga elektr izolatsion lok shimdiriladi. Shimdirish mashinasidan tayyor lokli o'qima eni 700 dan 1000 mm gacha bo'lgan rulonlar holida olinadi. Shisha to'qimalar eni 200 dan 700 mm gacha qilib chiqariladi.

7-jadvalda ba'zi elektr izolyatsion lokli to'qimalarning asosiy xarakteristikalarini keltirilgan.

Barcha tolali materiallar singari lokli to'qimalarning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi asos yo'nalishida, ya'ni polotno bo'ylab eng katta, tarqoq yo'nalishiga, ya'ni to'qima polotnosining ko'ndalangiga eng kichik bo'ladi. Ip gazlama lokli to'qimalarning suv singdiruvchanligi 4,5—7,0 %, ipaklilarniki 3,5—6,0 %, shisha tolalilarniki 1—2,0 %.

Yopishqoq elektr izolatsion lentalar ip gazlama yoki shisha(shisha tolali) lentalar asosida, shuningdek, polivinilxlorid plastik lentalar asosida tayyorlanadi.

Rezina qo'shilgan ip gazlama lenta qovushqoq rezina tarkibi shimdirilgan mitkal lentadan iborat.

Rezinali izolatsion lenta diametri 175+25 mm, eni 10, 15, 40 va 50 mm li chambaraklar holida chiqariladi. Rezinali izolatsion lenta chambaraklarini +5°C dan past va +25°C dan yuqori bo'lmagan temperaturada saqlash kerak, aks holda lenta yopishqoqligini tezda yo'qotadi. Lenta 70°C ga qadar qizdirilganda ham (bir sutka davomida) yopishqoqligini saqlab qolishi kerak. Rezinali yopishqoq; lenta montaj ishlarida past kuchlanishli tarmoq va qurilmalarda simlarning tutashgan joylarini izolatsiyalash uchun ishlatiladi.

Past kuchlanishli qurilmalarda yopishqoq polivinilxlorid lenta ancha ko'p ishlatiladi. Bu lenta diametri 80±10 mm, eni 15, 20, 25 va 50 mm li chambaraklar holida chiqariladi. Lentaning qalinligi 0,2—0,45 mm. Uni 60—65°C temperaturaga qadar ishlatish mumkin, bundan yuqori temperaturalarda u yumshay boshlaydi.

Qizdirishga chidamli yopishqoq shisha lenta qizdirishga chidamli kremniy-organik lok shimdirilgan shisha lentadan (ishqorsiz shishadan) tayyorlanadi. U diametri 150±25 mm, eni 10, 15, 20 va 25 mm hamda qalinligi 0,12—0,15 mm li chambaraklar holida chiqariladi. Bu lenta ish temperaturalari yuqori (180°C gacha) bo'lgan elektr mashina va apparatlar chulg'amlarining old qismlarini izolatsiyalash uchun ishlatiladi. Qalinligi 0,12 mm li shisha leptani teshib o'tuvchi kuchlanish 600—700 V ga, qalinligi 0,15 mm li lenta uchun esa 750—850 V ga teng.

Loklangan ip gazlama (linoksin) naylar kalava ipdan to'qilib, moyli lok shimdirilgan nay (paypoq)dan iborat. Ularning ichki diametri 0,5 dan 16 mm gacha, devorining qalinligi 0,4 dan 0,9 mm gacha bo'ladi. Naylarning uzunligi kamida 1000 mm bo'ladi. Naylarni teshib o'tuvchi kuchlanish 5 kV.

Linoksin naylar —50 dan +105°C gacha bo'lgan temperaturalar oralig'ida ishlashi mumkin. Ular elektr apparatlarda, shuningdek, transformatorlarda (quruq va moyli izolatsiyali) tutashish joylarini va chiqiq uchlarini izolatsiyalash uchun ishlatiladi.

Loklangan lavsan naylar—poliefir loklar shimdirilgan lavsan ipakdan to'qilgan naylar (paypoqlar)dir. Naylarning ichki dnametri 0,5 dan 10 mm gacha va devorining qalinligi 0,4 dan 0,8 mm gacha bo'ladi.

Loklangan lavsan naylar linoksin naylarga nisbatan mexanikaviy mustahkamligi va yedirilishga qarshiligi ancha kattaligi bilan farq qiladi. Lavsan naylarning bir gruppasidan —50 dan +105°C gacha temperaturalar oralig'ida (TPL markasi), boshqasidan (TEL markasi) —50 dan +130°C gacha temperaturalar oralig'ida foydalanish mumkin. Naylar 1000 dan 10000 mm gacha uzunlikda chiqariladi. Lavsan naylarining elektrik xarakteristikalarini linoksin naylarniki kabi bo'ladi: $\rho_v = 10^6 - 10^7 \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_m = 4 - 10 \text{ MV/m}$.

Loklangan shisha tolali naylar shisha tolalardan tayyorlanib, moyli, epoksid yoki qizdirishga chidamli kremniy-organik lok shimdirilgan nay (paypoq)lardan iborat. Shisha tolali loklangan naylarning ichki diametri 0,5 dan 10 mm gacha va devorining qalinligi 0,4—0,6 mm bo'ladi. Shisha tolali loklangan naylar linoksin va lavsan naylarga nisbatan elastikligi kamroq, lekin nam ta'siriga juda chidamli bo'ladi va ish temperaturasi —50 dan +180°C gacha bo'lgan elektr mashina va apparatlarda (TKS markasi) ishlatiladi, naylarning TLS markasi —50 dan 105°C gacha, TES markasi esa —50 dan +130°C gacha bo'lgan temperaturada ishlatilishi mumkin. Shisha tolali naylarning ishlatilish sohalari linoksin va lavsan naylarniki kabidir. Elektr izolatsion naylarning ko'rib chiqilgan barcha turlari yetarli darajada egiluvchan bo'ladi.

2.15. Plastmassalar

Plastik massalar (plastmassalar) qizdirish va bosim ta'sirida yumshab, plastik oqish xususiyatiga ega bo'lib qoladigan presslanadigan kukunlardan olinadigan buyumlardir. Shu tufayli quyish yoki presslash yo'li bilan turli shakldagi plastmassa buyumlar (elektr o'lchash asboblari, elektr apparatlarning korpusi va asosi, knopkalar, ruchkalar, qopqoqlar va boshqalar) olish mumkin.

Plastmassalar odatda ko'p komponentli materiallar bo'lib, bog'lovchi modda, to'ldirgichlar, plastifikatorlar, stabilizatorlar, moylovchi moddalar, qotirgichlar, bo'yoqlar, g'ovak hosil qiluvchilar va boshqa moddalardan tarkib topadi.

Bog'lovchi moddalar — sintetik smolalar (rezol, epoksid, kremniy-organik va boshqa smolalar). Ular to'ldirgichlarga va plastmassalarning boshqa komponentlariga shimilib, ularga pastiklik xususiyatini beradi va plastmassa buyumlarning bir butunligini ta'minlaydi.

Bog'lovchilar termoplastik yoki termoreaktiv moddalar bo'lishi mumkin. Termoplastik bog'lovchi (polivinilxlorid va boshqalar) ishlatilganda plastmassa buyumlar ham termoplastik bo'ladi, ya'ni muayyan temperaturaga qadar qizdirilganda yumshay boshlaydi. Termoreaktiv bog'lovchilar (rezol, kremniy-organik va boshqa smolalar) buyumlarga termoreaktivlik xususiyatini baxsh etadi—buyumlar qizdirilganda yumshamaydi.

To'ldirgichlar—kukunsimon yoki tolali moddalar bo'lib, tayyorlanadigan plastmassa buyumlarning mexanikaviy mustahkamligini oshirishga va hajmiy qisqarishini kamaytirishga imkon beradi. Tolali to'ldirgich zamburug'lari va namlik ta'siriga barqarorligi bilan ajralib turadi.

Sof polimerlarga (polietilen, polivinilxlorid va boshqalarga) nisbatan ular asosida olingan plastmassalarning elektr izolatsion xossalari birmuncha past bo'ladi. Bunga sabab plastmassalarning mexanikaviy mustahkamligini va qizdirishga chidamliligini oshirish maqsadida polimerlarga bo'yoqlar, to'ldirgichlar va boshqa moddalarning qo'shilganligidir. Plastmassalarning elektrik xarakteristikalarini quyidagicha: $\rho_v = 10^8 - 10^{13} \text{ Om} \cdot \text{m}$; $\epsilon = 5 - 8$; $\text{tg} \delta = 0,002 - 0,08$ $E_m = 5 - 25 \text{ MV/m}$.

Kremniy-organik bog'lovchilar asosida olingan plastmassalarining xarakteristikalarini eng yaxshi bo'ladi.

2.16. Qatlamli plastmassalar

Qatlamli plastmassalar qatlam-qatlam strukturali materallardir. Bu plastmassalarda list holidagi to'ldirgich (qog'oz, ip gazlama yoki shisha to'qima) va bog'lovchi modda qatlamlari galma-galdan joylashgan bo'ladi. Ulardan getinaks, tekstolit va shisha tekstolit eng ko'p ishlatiladi.

Getinaks qatlamli list material, unda qalinligi 0,10—0,12 mm li shimdirilgan qog'oz listlari to'ldirgich vazifasini o'taydi. Getinaks ishlab chiqarish protsessi qog'ozga bakelitli loklar shimdirish va keyin uni muayyan o'lchamdagi listlar holida kesishdan iborat. Lok shimdirilgan qog'oz listlari quritilgandan keyin presslanadigan buyum qalinligiga mos keladigan massada paketlarga yig'iladi. Yig'ilgan paketlar gidravlik presslarning qizdirilgan (160°C gacha) po'lat plitalari orasida presslanadi. Qaynoq holda presslanganda suyuqlangan smola lok shimdirilgan qog'oz listlarini yelimlab yopishtiradi va suyuqlanmaydigan holatga o'tadi. Presslash bosimi 5—9 MPa bosim ostida tutib turish vaqti presslanadigan list qalinligining har 1 mm ga 2 dan 5 minutgacha bo'ladi. Presslash protsessi tugagandan keyin olingan taxta va listlar sovitiladi. Pressdan olingandan keyin getinaks listlari va taxtalarining chetlari arralab tekislanadi. Listlarning yuzasi 550×700 da $930 \times 1430 \text{ mm}^2$ gacha bo'ladi.

Getinaks qalinligi 0,2 dan 50 mm gacha bo'lgan list va taxtalar holida tayyorlanadi; uning I, P, III, IV, V markalari sanoat chastotasi uchun mo'ljallangan (50 Гц) elektr uskunalarda ishlatish uchun, VI, VII va VIII markalari esa yuqori chastotada ishlatish uchun mo'ljallangan.

V-1 va U-2 markali getinaks elektr mustahkamligi yuqori ekanligi bilan ajralib turadi, III va IV markali getinaksning namlik ta'siriga chidamliligi yuqori, I va II markali getinaksning esa mexanikaviy mustahkamligi katta bo'ladi.

Getinaksdan turli xil elektr izolatsion yassi detallar va asoslar tayyorlashda foydalaniladi. Shuni hisobga olish kerakki, getinaksning elektr yoy ta'siriga chidamliligi yuqori emas va bir necha uchqun razryaddan keyin uning sirtida o'tkazuvchanligi katta bo'lgan uglerodlangan iz qoladi. Getinaksqa mexanikaviy ishlov berish oson—u qirqiladi, arralanadi, parmalanadi, uning ingichka tolali turlarini esa isitilgan holatda yaxshi shtamplanadi. Getinaksni 105°C dan yuqori bo'lmagan temperaturalarda ishlatish mumkin (qizdirishga chidamlilik A sinfi).

Tekstolit getinaksdan tarkibida to'ldirgich sifatida ip gazlama bo'lishi bilan farq qiladi. Tekstolit ishlab chiqarish getinaks ishlab chiqarishdan uncha farq qilmaydi. Tekstolitning A, B va G markalari bo'z hamda mitkal asosida, VCh markasi (yuqori chastotalar uchun)—shifon asosida tayyorlanadi.

Tekstolitning elektrik xarakteristikalar getinaksnikiga nisbatan birmuncha pastroq, lekin tekstolitning yorilishga (qatlamlari bo'ylab) qarshiligi va zarbiy qovushqoqligi (20—30 kJ/m² ga yetadi) katta bo'ladi. Tekstolitga mexanikaviy ishlov berish oson, lekin getinaksdan ancha qimmat turadi. Tekstolit qalinligi 0,5 dan 50 mm gacha va yuzasi 4500×600 dan 750×1000 mm gacha bo'lgan listlar holida chiqariladi. Uning qizdirishga chidamliligi 105°C dan yuqori emas (A sinf). Tekstolitning ham, getinaks singari, elektr yoy ta'siriga chidamliligi kam, chunki undagi bog'lovchi modda bakelit smola elektr uchqunlar ta'sirida osongina uglerodga aylanadi.

Shisha tekstolit tekstolitdan tarkibida to'ldirgich sifatida ishqorsiz elektr izolatsion shisha to'qima borligi bilan farq qiladi. Uning namlik ta'siriga va qizdirishga chidamliligi yuqori va elektrik hamda mexanikaviy xarakteristikalar tekstolit va getinaksnikiga nisbatan yaxshi bo'ladi, lekin unga ishlov berish qiyin. Shisha tekstolitning bir necha markalari tayyorlanadi: ST, STB—fenolformaldegid smola bog'lovchi qo'shilgan ishqorsiz to'qimalar asosida, STEF va STEF-1 epoksid va kremniy-organik smolalar aralashmasini qo'shib, STQ va STK-41U—kremniy-organik bog'lovchi qo'shib tayyorlanadi. Qatlamlı plastmassalarning asosiy xarakteristikalar 5-jadvalda keltirilgan.

Xarakteristikalar	Past chastota uchun mo'ljallangan getinaks I, II, III va V	Past chastota uchun mo'ljallangan getinaks A, B, G	Bag'lovchi smola asosida olingan shisha tekstolitlar		
			Fenol formaldegidli	Kremniy- organik	Epoksid va kremniy- organik
Zichligi, kg/m ^{3z}	1350-1450	1300-1400	1600-1700	1700-1800	1800-1900
Egishdagi mustahkamlik chegarasi, N/m ²	(800-1200)·10 ⁵	(700-1000)·10 ⁵	(950-1200)·10 ⁵	(1500-1700)·10 ⁵	(2000-4200)·10 ⁵
Cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi, N/m ²	(600-300)·10 ⁵	(350-600)·10 ⁵	(700-900)·10 ⁵	(900-1290)·10 ⁵	(1750-2500)·10 ⁵
Zarbiy qovushqoqligi, kJ/m ²	15-22	20-30	35-52	20-50	140-250
Issiqa bardoshligi (Martens bo'yicha), °C	150-160	135-160	180-220	200-220	105-200
Solishtirma hajmiy qarshiligi, Om·m	10 ⁸ -10 ¹¹	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁹ -10 ¹⁰	10 ¹¹ -10 ¹²	10 ¹¹ -10 ¹²
Dielektrik singdiruvchanligi	6-8	6-7	5-7	5-6	6-7
Dielektrik isroflar burchak tangensi (50 Γu da)	0,05-0,08	0,08-0,18	0,05-0,09	0,006-0,012	0,008-0,014

Yuqorida bayon qilingan listlar va taxtalar holida tayyorlanadigan qatlamli plastmassalardan tashqari, silindrlar, naylar, presslangan sterjenlar va turli shakldagi detallar holida qatlamli o'ralgan elektr izolatsion buyumlar ham tayyorlanadi. Bu buyumlar uchun bir tomoni yelimlovchi lok bilan qoplangan qog'oz, shuningdek, loklangan ip gazlama va shisha to'qimalar ham ishlatiladi.

Silindrlar va naylar ko'rinishidagi o'rama buyumlar loklangan qog'oz yoki to'qimani diametri tayyorlanadigan buyumning ichki diametriga mos keladigan po'lat gardishga o'rash yo'li bilan tayyorlanadi. Gardish qazdiriladigan ikkita valik ustiga joylashtiriladi va tepasidan qizdirilgan uchinchi valik bilan siqib qo'yiladi. Qog'oz yoki to'qimaning lok qatlamidagi smola

qizdirilgan po'lat gardishda suyuqlanadi va listlarni bir-biriga yopishtiradi. Buyumlarning qalinligi avtomatik moslamalar bilan nazorat qilib turiladi.

To'ldirgich sifatida qog'oz ishlatilgan silindr va naylar bakelitlangan qog'oz buyumlar deyiladi. Ular diametri 10 dan 1200 mm gacha, devorining qalinligi 1,5 dan 8,0 mm va undan qalin qilib chiqariladi. O'ralgandan keyin bu buyumlarga bog'lovchining tarkibiga qarab 130—200°C temperaturada ishlov beriladi (pishiriladi). O'rash paytidagi bosim list materiallarni (getinaks va boshqalar) presslashdagi bosimdan kam bo'lganligi sababli silindr va naylarning zichligi kichikroq bo'ladi. Pishirilgan silindr va naylar gardishdan ajratiladi va uchlari qirqiladi. Qirqilgan joylari loklanadi va buyum qaytadan pishiriladi.

Bakelitlangan silindr va naylar asosan transformatorlar va elektr apparatlarning ichki izolatsiyasi uchun ishlatiladi. O'ralgan buyumlarning mexanikaviy va elektrik xarakteristikalarini presslangan plastmassalarningkiga; getinaks, tekstolit va shisha tekstolitlarningkiga qaraganda birmuncha past bo'ladi.

2.17. Sludali materiallar

Sluda—o'ziga xos qatlam-qatlam tuzilishli tabiiy mineral bo'lib, uning kristallarini qalinligi 0,006 mm gacha bo'lgan yupqa listlarga ajratish mumkin. Sludaning yupqa listlari egiluvchan, elastik va cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi yuqori $\sigma_{ch} = (15-35) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bo'ladi. Elektr mashinalarning chulg'amlari uchun qattiq (mikanitlar) yoki egiluvchan (mikalentlar) sludali izolatsiya sluda listlarini bir-biriga yelimlovchi smolalar yoki loklar (shelllokli, moy-bitumli va boshqa loklar) bilan yelimlab olinadi.

Tabiiy sludalarning anchagina katta gruppasidan elektr izolatsion materiallar sifatida faqat muskovit va flogopit ishlatiladi, chunki ular qatlamlarga oson ajraladi va elektr xarakteristikalarini yaxshidir.

Muskovit—kaliyli sluda ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Muskovit kristallarining rangi kumushsimon, ba'zan yashilsimon yoki qizg'ish tovlanadi. Bu sludaning yupqa listlari (0,05—0,06 mm) tiniq bo'ladi. Muskovit kimyoviy jihatdan barqaror bo'lib, unga erituvchilardan hech biri va ishqorlar ta'sir etmaydi. Sulfat va xlorid kislotalar muskovitni faqat qizdirilgandagina parchalaydi.

Muskovitning asosiy xarakteristikalarini: zichligi 2700—3000 kg/m³, suv singdiruvchanligi 1,3—4,5 %; $\rho = 10^{12} - 10^{14} \text{ Om} \cdot \text{m}$; $\epsilon = 6 - 8$; $\text{tg} \delta = 0,0003 - 0,0005$; $E_m = 120 - 190 \text{ MV/m}$ (listlarning qalinligi 0,1 mm bo'lganda). Qalinligi ortishi bilan sludaning elektr mustahkamligi kamayadi.

Muskovit o'z xossalarini 500°C temperaturagacha o'zgartirmaydi. Bu temperaturadan oshganida sludadan kimyoviy bog'langan suv ajralib chiqq

boshlaydi. Buning natijasida sluda listlari shishadi, ya'ni qalinligi ortadi. Bunda elektrik va boshqa xarakteristikalar keskin yomonlashadi. Muskovitning suyuqlanish temperaturasi 1260—1300°C ga teng.

Flogopit—kaliyli—magneziysluda ($K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). Flogopit kristallarining rangi qoradan qahrabo ranggacha bo'ladi. Flogopit sludaning yupqa (0,006—0,01 mm) listlari yari'in tiniq bo'ladi. Muskovit sludaga nisbatan ularning cho'zilishga mustahkamlik chegarasi kichikroq va egiluvchanligi kamroq bo'ladi. Yedirilishga qarshiligi nisbatan kichik bo'lganligi tufayli flogopit yelimlangan list materiallar—kollektor mikanitlari ishlab chiqarishda ishlatiladi. Ulardan elektr mashinalarning kollektorlarida mis plastinkalarni izolatsiyalashda ishlatiladigan qistirmalar shtamplanadi. Ish paytida flogopitdan tayyorlangan izolatsion qistirmalar cho'tkalarning yedirish ta'sirida bo'ladi va mis plastinkalar bilan bir xil daraja yemiriladi. Bu hol kollektorning normal ishlashini ta'minlaydi.

Flogopitning kimyoviy barqarorligi muskovitnikiga nisbatan kamroq. U kislotalar bilan reaksiyaga kirishadi, lekin ishqorlar flogopitga ta'sir etmaydi.

Flogopitning asosiy xarakteristikalari: zichligi 2700—2800 kg/m³; suv singdiruvchanligi 1,5—5,2 %; $\rho = 10^{11} - 10^{13}$ Om·m; $\varepsilon = 5 - 7$; $\text{tg}\delta = 0,002 - 0,008$; $E_m = 96 - 180$ MB/m (listlarining qalinligi 0,01 mm bo'lganda).

Flogopit 800°C temperaturagacha o'z xarakteristikalarini o'zgartirmaydi. Bu temperaturadan oshgandan keyin flogopit listlari shisha boshlaydi va ularning dastlabki elektr hamda mexanikaviy xossalari yo'qoladi. Flogopit sludaning ayrim turlari tarkibidagi suv miqdori ortishi bilan (gidratlangan flogopit) 200—250°C temperaturadan boshlab xossalari keskin yomonlasha boshlaydi. Flogopit sludaning suyuqlanish temperaturasi 1270—1330°C ga teng.

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, sludaning barcha turlari namlikni asosan, sludalistlarining jipslashish tekisligi bo'yicha yutadi. Sludaning suv singdiruvchanligi 1,3—5,5 %ni tashkil etadi. Sluda yer qatlamida boshqa minerallar (pegmatit, kvars va boshqalar) bilan birga bo'ladi. Qazib olingan sluda kristallari tozalanadi, so'ngra plastinkalarga ajratiladi,

Sluda tilmalarining assortimenti

6-jadval

	Sluda yaproqlarining raqami								
	50	40	30	20	15	10	6	4	0,5
To'g'ri to'rt-burchakning yuzasi sm ²	50—60	40—50	30—40	20—30	15—20	10—15	6—10	4—6	0,5—4

ular saralangan sluda deyiladi. Saralangan sluda plastinalarini maydalab, sluda tilmalari olinadi. Bular qalinligi 10—45 mkm, shakli saralangan sludaga mos keladigan listlardir. Sluda tilmalari saralangan muskovit va flogopit sludalarni parchalash usuli bilan olinadi. Bu usul bilan qalinligi bir xil bo'lgan listlar olish mumkin. List konturiga cho'zish mumkin bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuziga qarab sluda tilmalari to'qqiz xil o'lchamda bo'ladi (6-jadval).

Sluda tilmalari turbogeneratorlar, gidrogeneratorlar, tortuvchi elektr dvigatellar va boshqa elektr mashinalarda izolatsiyaning muhim turlarini (paz izolatsiyasi va boshqalar) tayyorlash uchun ishlatiladi.

Sluda yaproqlari listlarining yuzasi kichik bo'lganligi sababli ular slimlangan sludali materiallar—mikanitlar va mikalenta holida ishlatiladi.

Mutlaqo tiniq listlarga oson ajraladigan sintetik sluda—ftorflogopit olingan. Tabiiy sludalarga nisbatan ftorflogopitning qizdirishga chidamliligi yuqori (1000°C gacha) va elektrik xarakteristikalari ancha yaxshi bo'ladi. Masalan, tabiiy sludaga qaraganda sintetik sludaning solishtirma hajmiy qarshiligi 15—20 marta, elektr mustahkamligiya 1,5 marta yuqori, dielektrik isroflarning burchak tangensi esa 2 marta kichik bo'ladi. Ftorflogopit asosan elektron lampalarning ichki izolatsiyasida va maxsus elektr mashinalarning qizdirishga chidamli izolatsiyasida ishlatiladi.

Mikanitlar—tilimlangan sluda listlarini smolalar (shellokli, gliftalli va boshqa smolalar) yoki shu smolalar asosida olingan loklar yordamida yelimlash yo'li bilan olinadigan qattiq yoki egiluvchan list materiallardir. Ularni olish uchun tilimlangan tabiiy sluda listlari stolga bir qatlam qilib yoyiladi, yelimlovchi lok purkab, ikkinchi qatlam qo'yiladi va yana lok purkaladi; zarur qalinlikdagi list olingunga qadar bu ish takrorlanaveradi.

Hozirgi paytda mikanitlarning list zagotovkalarini ishlab chiqarish protsessi mexanizatsiyalashtirilgan. Barcha mikanitlar tegishli markalar bilan belgilanadi, bu markalar ikkita yoki uchta harfdan, ba'zan esa raqamlardan iborat bo'ladi. Marka belgisidagi birinchi harf mikanitning tipini (K—kollektor mikaniti, P—qistirma mikaniti, F—qoli planadigan, G—elastik mikanit), ikkinchi harf ishlatilgan sluda turini ko'rsatadi (M—muskovit, F—flogopit, S—muskovit bilan flogopit aralashmasi); mikanitlar markasi belgisining uchinchi harfi bog'lovchining turini ko'rsatadi (G—gliftalli smola, Sh—shellokli smola, K—kremniy-organik smola, P—poliefir smola). Marka oxiridagi A harfi mikanit tarkibida bog'lovchi miqdorining kamligini ko'rsatadi. Masalan, PMGA markasi qistirma mikaniti bo'lib, bu muskovit sluda asosida gliftal smola bilan tayyorlangan, tarkibida bog'lovchining miqdori kam (5—12 %) ekanligini ko'rsatadi. Muskovit sluda asosida tayyorlangan PMG markali yana bir qistirma mikaniti tarkibida 15—20 % bog'lovchi (gliftal smola) bo'ladi. Kollektor

mikaniti flogopit sludaning tilimlangan listlarini shellokli yoki glifal smolalar bilan yelimlab yopishtirish va 155°C temperaturada $(180-260) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda qaynoq holda ikki marta presslash yo'li bilan tayyorlangan qattiq list materialdir. Kollektor mikanitining presslangan listlari silliqalanadi, shunda listlar qalinligidagi farq $\pm 0,06 \text{ mm}$ dan oshmaydi. Shundan keyin mikanit listlariga lok qoplanadi va material elektr mashina kollektorlarining ishonchli ishlashini ta'minlaydigan bo'lishi uchun qaytadan presslanadi. Sluda listlari bir-biriga nisbatan surilib ketmasin uchun kollektor mikanitlariga ko'pi bilan 4—6 % bog'lovchi moddalar qo'shiladi. Kollektor mikaniti qalinligi 0,4—1,5 mm va yuzasi kamida $215 \times 465 \text{ mm}$ li listlar holda chiqariladi.

Kollektor mikanitining elektrik xarakteristikalar: $\rho_v = 10^{11} - 10^{13} \text{ O}\cdot\text{m}$; $\text{tg}\delta = 0,008 - 0,03$; $E_m = 18 - 25 \text{ MV/m}$.

Kollektor mikaniti listlaridan shtamplash yo'li bilan izolatsion qistirmalar (20-rasm) olinadi, ular elektr mashina kollektorlarida mis plastinalarni bir-biridan izolatsiyalash uchun ishlatiladi.

Qistirma (prekladia) mikaniti muskovit, flogopit sludaning tilimlangan listlarini yoki ular aralashmasini yelimlab yopishtirish va so'ngra presslash yo'li bilan tayyorlangan qattiq list materialdir. Bog'lovchi moddalar sifatida shellokli, glifal yoki kremniy-organik smola ishlatiladi. Qistirma mikanitlarida 1 sluda 80—95 %i, bog'lovchining miqdori esa tegishli 20—5 %ni tashkil etadi.

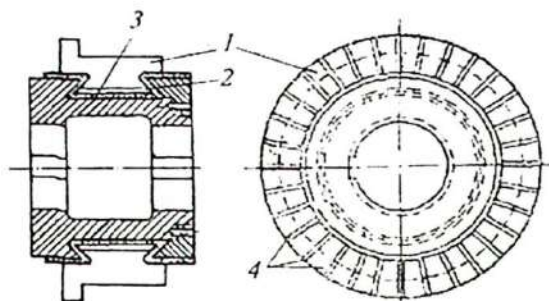
Qistirma mikaniti 150°C temperatura va $(30-60) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda bir marta presslash yo'li bilan tayyorlanadi. Mikanit qalinligi 0,15—5,0 mm va yuzasi kamida $550 \times 650 \text{ mm}$ li qilib chiqariladi.

Qistirma mikanitining elektrik xarakteristikalar: $\rho_v = 10^{11} - 10^{12} \text{ O}\cdot\text{m}$; $\text{tg}\delta = 0,02 - 0,05$; $E_m = 15 - 25 \text{ MV/m}$.

Qistirma mikanitidan elektr mashina va apparatlari uchun turli xil elektr izolatsion qistirmalar tayyorlanadi.

Qoliplanadigan mikanit tilimlangan muskovit, flogopit sluda listlarini yoki ularning aralashmasini glifal, shellokli yoki kremniy-organik smola bilan yelimlab yopishtirish orqali olinadigan list material. Qoliplanadigan mikanit lari $(5-10) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosim va 155°C temperaturada bir marta presslanadi. Qoliplanadigan mikanit kollektor va qistirma mikanitlariga nisbatan ancha yumshoq strukturali bo'ladi. Bu qoliplanadigan mikanitdan murakkab shaklli elektr izolatsion buyumlar 20-rasmga qarang) tayyorlash (qaynoq holda presslash yo'li bilan) uchun zarur. Qoliplanadigan mikanit tarkibida 80—95 % sluda, 20—5 % bog'lovchi modda bo'ladi.

Xona temperaturasi qattiq holda bo'ladigan qoliplanadigan mikanitning qizdirilgan holatda qoliplanish va berilgan shaklni saqlab qolish xususiyati bor. Qoliplanadigan mikanit qalinligi 0,1 dan 2,0 mm gacha, undan ham ko'p hamda yuzasi kamida $500 \times 650 \text{ mm}$ li qilib chiqariladi.



20-rasm. Elektr mashina kollektorida mikanitlardan yasalgan buyumlar:
1—mis kollektor plastinalari; 2—qoliplanadigan mikanitdan yasalgan manjet;
3—qoliplanadigan mikanitdan yasalgan silindr; 4—kollektor mikanitidan yasalgan qistirmalar.

Qoliplanadigan mikanitning elektrik xarakteristikalar: $\rho_v = 10^{11} - 10^{12} \text{ Om} \cdot \text{m}$; $\text{tg} \delta = 0,05 - 0,09$; $E_m = 22 - 30 \text{ MV/m}$.

Elektrik xarakteristikalarining ancha yuqori qiymatlari muskovit sludadan qalinligi 0,15—0,25 mm qilib tayyorlangan mikanitlarga tegishlidir.

Egiluvchan mikanit—tilimlangan sluda (muskovit yoki flogopit) listlarini egiluvchan pardalar hosil qiladigan moy-gliftalli loklar yordamida yopishtirish yo'li bilan olinadigan list material. Egiluvchan mikanitlar presslangan yoki presslanmagan holda chiqariladi.

Mexanikaviy mustahkamligini oshirish uchun egiluvchan mikanitning ba'zi turlariga ikkala tomonidan mikalenta qog'oz yopishtiriladi. Mikanit listlarining qalinligi 0,15 dan 0,5 mm gacha bo'ladi.

Qog'oz yopishtirilmagan egiluvchan mikanitlarda sluda 75—90 %ni tashkil etadi, qolgani bog'lovchidan iborat bo'ladi; qog'oz yopishtirilgan mikanitlarda sluda 50—65% ni, bog'lovchi 25—10 %ni tashkil etadi, qolgani qog'oz bo'ladi.

Egiluvchan mikanitlar elektr mashinalarda gaz izolatsiyasi o'ramlararo izolatsiya va bandaj osti izolatsiyasi sifatida, shuningdek, turli xil egiluvchan elektr izolatsion qistirmalar sifatida ishlatiladi. Egiluvchan mikanitlarning egilish xususiyati (20°C da) uni tayyorlovchi zavoddan jo'natilgandan keyin 60 kun davomida saqlanib qolishi kerak.

Egiluvchan shisha mikanit egiluvchan mikanitdan bir yoki ikkala tomoniga ishqorsiz shisha to'qima yopishtirilganligi bilan farq qiladi; bu

to'qima materialning mexanikaviy mustahkamligini va egiluvchanligini oshiradi. Qizdirishga chidamli egiluvchan shisha mikanitni (N klass) kremniy-organik bog'lovchi qo'shib tayyorlanadi. Qolgan shisha mikanitlar moy-glifitalli yoki epoksid poliefirli loklar bilan yelimlanadi. Shisha mikanitlarda flogopit sluda ishlatiladi.

Egiluvchan shisha mikanitlar tarkibida 45—65 % sluda, 30—8 % yelimlovchi moddalar, qolgani shisha to'qima bo'ladi. Bu mikanitlarning qalinligi 0,20—0,60 mm bo'ladi.

Egiluvchan mikanitlarning elektrik xarakteristikalari: $\rho_v = 10^{10} - 10^{12}$ Om·m; $\text{tg}\delta = 0,05 - 0,09$; $E_m = 12 - 28$ MV/m.

Kremniy-organik bog'lovchili mikanitlarning barcha turlari 180°C da uzoq vaqt ishlashi mumkin (N sinf), poliefir va epoksidli yelimlovchi tarkib yordamida olingan mikanitlar 155°C da, shellokli va glifital smolalar qo'shib olinganlari esa 130°C dan yuqori bo'lmagan temperaturalarda uzoq vaqt davomida ishlashi mumkin.

Mikafoliy—qalinligi 0,05 mm li zich telefon qog'ozga bir yoki bir necha qatlam tilimlangan sluda (muskovit yoki flogopit) yaproqlari yopishtirib tayyorlangan rulon yoki list ko'rinishidagi material. Bog'lovchi sifatida glifitalli, moy-glifitalli va boshqa loklar ishlatiladi.

Mikafoliy eni kamida 500 mm bo'lgan rulonlar yoki o'lchamlari 500×1000 mm va qalinligi 0,15; 0,20; 0,30 mm li listlar holida chiqariladi. Mikafoliy massasining 45—65 % sluda, 30—12 % yelimlovchi modda, qolgani qog'oz va uchuvchan moddadan iborat bo'ladi. Qoli planadigan mikanit singari mikafoliy ham qizdirilgan holatda qoli planadi. Mikafoliydan (qaynoq holda presslash yo'li bilan) bolt va shpilkalarni izolatsiyalash uchun naylar, chulg'amlarning gaz izolatsiyasi uchun gilzalar va boshqa shakldor buyumlar tayyorlanadi.

Mikafoliyning barcha turlari qizdirishga chidamliligi jihatdan V sinfga kiradi, ya'ni 130° C ga qadar temperaturalarda ishlashi mumkin.

Mikafoliyning asosiy xarakteristikalari: $\sigma_{ch} = (1,5 - 3,2) \cdot 10^5$ N/m²; $\rho_v = 10^{10} - 10^{12}$ Om·m; $E_m = 13 - 20$ MV/m.

Mikalenta—xona temperaturasida egiluvchan bo'lgan rulon material. Mikalenta tilimlangan sluda listlarini yupqa (0,02—0,03 mm) mikalenta qog'ozga yoki shisha to'qimaga bir qavat qilib yopishtirish yo'li bilan olinadi. Olingan materialning qalinligi 0,08 mm bo'ladi. Qalinligi ODO; 0,13; 0,17 va 0,21 mm bo'lgan mikalentaga ikkala tomonidan mikalenta qog'oz yoki shisha to'qima yopishtirilgan bo'ladi. Lok sifatida moy-bitumli (qora) yoki moy-glifitalli (ochiq rangli) loklar, shisha mikalenta ishlab chiqarishda esa qizdirishga chidamli kremniy-organik loklar ishlatiladi.

Mikalenta massasining 45—60 %ini sluda, 25—20%ini qog'oz, 20—15 % ini yelimlovchi moddalar, qolganini uchuvchan moddalar tashkil etadi.

Mikalenta eni 400 mm li rulonlar va eni 10, 15, 20, 23, 25, 30 hamda 35 mm li rolklar holida chiqariladi. Egiluvchanligina saqlash uchun mikalenta germetik berk idishlarda (metall qutilarda) tashiladi va saqlanadi.

Mikalenta yuqori kuchlanishli elektr dvigatellar va generatorlarda chulg'amlarning (sterjenlarning) asosiy izolatsiyasi sifatida ishlatiladi. Shisha to'qima asosida kremniy-organik bog'lovchi ishlatib olingan mikalentalarining qizdirishga chidamliligi eng yuqori bo'ladi.

Mikalentaning elektr xarakteristikalar: $\sigma_{ch} = (1,8-3,5) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho_v = 10^{10}-10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $E_m = 10-22 \text{ MV/m}$.

2.18. Sludinit va sludoplast materiallar

Tabiiy sludani qazib olishda va undan elektr izolatsion materiallar tayyorlashda 90 %ga yaqin turli xil chiqindilar hosil bo'ladi. Ular orasida sludaning mayda chiqindilari—skrap ko'p protsentni tashkil etadi. Tozalangan skrapdan sludali (sludinit) qog'oz tayyorlanadi, bu qog'ozdan esa qattiq yoki elastik elektr izolatsion materiallar—sludinitlar olinadi.

Sludinit qog'ozlarning elektr va mexanikaviy xossalarini yaxshilash uchun sluda pulpasiga turli xil bog'lovchi moddalar (kremniy-organik, gliftalli va boshqa smolalar) qo'shiladi.

Tilimlangan sludadan qanday elektr izolatsion materiallar tayyorlansa, sludinit qog'ozdan ham shunday materiallar tayyorlanadi. Lekin sludinit materiallarning qalinligi bir tekis, o'zi bir jinsli va elektrik xarakteristikalari ancha yuqori bo'ladi. Sludinit materiallarning kamchiliklari sifatida mexanikaviy mustahkamligining kamligi va mikanitlarga nisbatan namlik ta'siriga chidamliligining birmuncha pastligini aytib o'tish kerak.

Sludin materiallardan sludinit va shisha sludinit lentalar eng ko'p ishlatiladi, ularning xossalari mikalentanikiga nisbatan ancha o'zgaras bo'ladi. Kremniy-organik bog'lovchi ishlatib olingan shisha sludinit lentalar qizdirishga juda chidamli bo'ladi. Bundan tashqari, kollektor sludinit, qistirma sludinit va elastik sludinitlar ham ishlatiladi. Sludinit materiallarning elektr xarakteristikalari tilimlangan sludadan tayyorlangan materiallarniki darajasida bo'ladi.

Sludinit lentalar elektr mashinalarida o'ram va korpus izolatsiyasi uchun mikalenta o'mida ishlatiladi. Qandan bog'lovchi ishlatilganiga qarab sludinit materiallar qizdirishga chidamliligi jihatidan V, G', va N sinflarga kiradi.

Sluda chiqindilaridan foydalanish yo'lidagi dastlabki harakat sludinit qog'ozlar asosida qattiq list materiallar va elastik lentalar—sludinit elektr izolatsion materiallar yaratilishiga olib keldi. Ular tilma sludadan yelimlab

tayyorlangan materiallar o'rnida ishlatila boshlandi. Lekin barcha sludinit materiallarning asosi hisoblangan sludinit qog'ozning mexanikaviy mustahkamligi kam bo'ladi. Shu sababli sludinit materiallar elektr mashinalarida o'ram va paz izolatsiyasi sifatida ishlatilganida tez shikastlanadi. Sluda chiqindilaridan yangi elektr izolatsion materiallar tayyorlash uchun ancha puxta asos izlashga doir ishlar sludoplast qog'ozlar ishlab chiqilishiga olib keldi. Bunday qog'ozlar sludinit qog'ozlarga nisbatan birmuncha mexanikaviy jihatdan mustahkam.

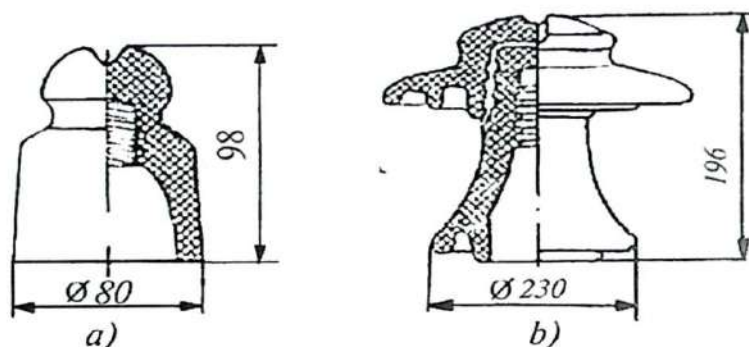
Sludoplast qog'oz ham sluda chiqindilarini maydalash yo'li bilan olinadi, lekin bunda yuqori temperaturada (800°C) ishlov berilmaydi*. Bu hol sluda zarrachalarining bir-biriga ilashish xususiyatini saqlab qolishga ko'p jihatdan imkon beradi. Bunda mexanikaviy mustahkamligi sludinit qog'oznikiga qaraganda ancha katta bo'lgan sludoplast qog'oz hosil bo'ladi.

Sludoplast qog'oz ham sludnnit qog'oz singari g'ovak bo'ladi, shu sababli ular elektr izolatsion loklar shimdirilgandan keyin ishlatiladi. Eng yaxshi shimdiriladigan va bog'lovchi moddalar kremniy-organik loklardir, chunki ular qizdirishga chidamli sludoplast elektr izolatsion materiallar olinishini ta'minlaydi.

Shimdiriladigan va bog'lovchi tarkib, shuningdek, shisha to'qima holdagi asoslar (taglik) ishlatish tilma sludadan olingan assortimentdagi elektr izolatsion materiallar olishga imkon beradi. Bular kollektor, qistirma, qoli planadigan va egiluvchan sludoplast, shuningdek, sludoplastofoliy, shishasludoplast lenta va sludoplast qog'ozlar asosida olingan boshqa kompozitsion materiallardir. Bu materiallarni elektr mashinalarning o'ram, o'ramlararo va paz izolatsiyasida ishlatish tajribasi sludinit va sludoplast materiallar tilma sludani yelimlash yo'li bilan olingan ko'pgina materiallarga nisbatan bir me'yorda qalindikka va katta elektr mustahkamlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Sludinit va sludoplast materiallarni elektrotexnika sanoatida keng joriy etishning katta texnika-iqtisodiy ahamiyati bor.

2.19. Elektr keramik materiallar

Elektr keramik materiallar toshsimon qattiq moddalar bo'lib, ularga faqat abrazivlar (karborund va boshqalar) bilan ishlov berish mumkin. Barcha elektr keramik materiallar ishlatilishiga ko'ra uch guruhga: izolator, kondensator materiallar va segnetoelektrik keramika guruhiga bo'linadi. Barcha elektr keramik materiallar gigroskopik bo'lmay, atmosfera ta'siriga chidamli bo'ladi. Eng ko'p ishlatiladigan elektr keramik materiallardan biri elektrotexnikaviy chinnidir*. Undan turli konstruksiyadagi yuqori va past kuchlanishli izolatorlar tayyorlanadi (21-rasm).



21-rasm. Shtirli chinni izolatorlar:
a—past kuchlanish uchun; b—yuqori kuchlanishi uchun.

Boshlang'ich elektr chinni massa gilsimon moddalar (42—50 %), kvarts (20—25 %), kaliyli dala shpati (22—30 %) va brak qilingan chinni buyum siniqlaridan (5—8 %) iborat bo'ladi. Izolatorlarni sifatli qilib tayyorlashda xamirsimon massa olish uchun maydalangan komponentlarga 20—22 % suv qo'shiladi. Shundan keyin xamirsimon chinni massaga kirib qolgan havoni chiqarib yuborish uchun vakuumda ishlov beriladi.

Vakuum-pressdan olingan massa yaxlit silindr holida bo'lib, mundshtukdan chiqishida kerakli uzunlikda bo'laklar qirg'iladi, ulardan esaturli tipdagi izolatorlar tayyorlanadi.

Izolatorlar gips yoki po'lat qoliplarda presslash va boshqa usullar bilan olinadi. Qoliplardan olingan izolatorlar tokarlik stanoklariga o'tadi, bu yerda ularga uzil-kesil shakl berilib, o'lchamlari to'g'rilanadi. Yo'nalgan izolatorlarning namligi 16—18 % bo'ladi. So'ngra ular quritgichga yuboriladi, bu yerda namligi 0,1—2 % ga qadar kamayadi. Quritilgan buyumlarning hajmi kichrayadi.

Quritilgan chinni buyumlarga suyuq suspenziya—sir (glazur) qoplanadi. Sirning tarkibi suyuq chinni massaning tarkibidan shisha hosil qiluvchi komponentlarning (kvarts, dala shpagi, doloit va boshqalarning) miqdori ko'pligi bilan farq qiladi. Rangli sirlarga bo'yoqlar—xromli temirtosh, iroluzit va boshqalar ham ko'shiladi.

Elektr chinni buyumlarni pishirish jarayonida sir qatlami suyuqlanib buyumlar sirtida bir tekis shishasimon qoplam hosil qiladi. Sir izolatorlarning mexanikaviy mustahkamligini oshiradi va ularni namlik hamda atmosferadagi iflosliklar ta'siriga chidamli qiladi. Rangli sirlar izolatorlarni maskirovkalash uchun ham xizmat qiladi.

Izolatorlarga uzluksiz ishlaydigan tunnel pechlarda termik ishlov beriladi— pishiriladi. Bu pechlar juda unumdorligi bilan farq qiladi, chunki bunday pechlarda izolatorlar uzluksiz (ketma-ket) pishiriladi. Quritilgan va sir suspenziyasi qoplangan, maxsus vagonetkalarga o'rnatilgan izolatorlar pech tunnelida harakatlanadi. Ular pechda kerakli temperaturadagi isitish, pishirish, sovitish zonalaridan birin-ketin o'tadi. Izolatorlar pechdan chiqish oldida tayyor elektr keramik buyumlarga aylanadi. Elektr keramik buyumlarni pishirishda alanga va gazlar ularga bevosita ta'sir etmasligi lozim, shu sababli izolatorlar va boshqa buyumlar o'tga chidamli kapsellarga joylanadi; bu kapsellar o'tga chidamli keramik massadan tayyorlangan yumaloq qutichalardan iborat bo'ladi.

Pishirilgandan keyin elektr keramik buyumlar mexanikaviy va elektr jihatdan sinab ko'riladi. Bunda nuqsoni bor buyumlar yaroqsizga chiqariladi.

Agar chinnining strukturasi mikroskop ostidan qaralsa, chinni mullit $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ning bir-biriga nisbatan tartibsiz joylashgan ninasimon kristallaridan tarkib topganligi ko'rinadi. Bu kristallar orasidagi bo'shliq tarkibida qisman kvars kristallari erigan shisha bilan to'lgan bo'ladi. Kristall va shishasimon fazalarning birga kelishi chinnining mexanikaviy va elektr mustahkamligi ancha yuqori bo'lishini va uning gigroskopik bo'lmashligini ta'minlaydi. Elektr keramik materiallardan yana biri steatitdir. U elektr chinnidan mexanikaviy mustahkamligining yuqoriligi va elektrik xarakteristikalarining yaxshiligi bilan farq qiladi. Steatit elektr izolatsion buyumlar o'zining elektrik xarakteristikalarini unchalik o'zgartirmay, 300°C temperaturagacha ishlashi mumkin. Elektrotexnikaviy chinnidan tayyorlangan buyumlarda esa 100°C va undan yuqori temperaturada elektrik xarakteristikalarining keskin yomonlashuvi kuzatiladi. Steatit—elektr chinniga nisbatan ancha qimmat material, chunki uni tayyorlash uchun ancha qimmat hom ashyodan foydalaniladi.

Boshlang'ich steatit massalar tabiiy mineral—talk ($\text{ZMgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) va bariy karbonat BaSO_3 yoki kalsiy karbonat CaSO_3 asosida tayyorlanadi. Plastik bo'lsin uchun steatit massaga 15—20 % gilsimon moddalar (betonnt va boshqa gillar) qo'shiladi. Steatitlar uchun tarkibida ko'pi bilan 0,5 % temir oksidlari bo'ladigan talkli tabiiy toshning eng toza navlari ishlatiladi. Boshlang'ich steatit plastik massalar tayyorlash protsessi elektr chinni massalar tayyorlash protsessidan farq qilmaydi.

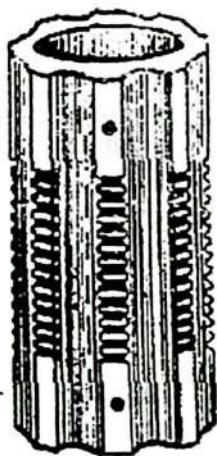
Plastiksteatit massadan gips qoliplarda presslash usuli bilan steatit izolatorlar va elektr izolatsion buyumlar tayyorlanadi.

Parafin bog'lovchi ishlatib bosim ostida steatit buyumlar quyish usuli eng ko'p tarqalgan. Bu texnologiya bo'yicha dastlab steatit spek olinadi. Spek

bu pechda pishirib olingan steatit massaning maydalangan korjlaridir. Tozalangan spek kukuni elektr bilan isitiladigan sharli tegirmonga solinadi. Tegirmonga parafin (8—16 %), olenikslota (0,6—0,8 %) va maydalanadigan jismlar (steatit zoldirlar) ham solinadi. Tegirmon 90°C ga qadar qizdiriladi va qopqog' berkitib, ishga tushiriladi. Bunda steatit kukuni mayda holga kelguncha maydalanadi va suyuqlangan parafin bilan aralashadi. Odatda quyiladigan steatit massa shu sharli tegirmonning o'zida havosizlantiriladi, bundan maqsad massaning qolipga quyilish xossasini yaxshilashdir. Tayyorlangan quyish massasi quyish apparatlarining ish baklariga tushadi. Bu yerdan (3—8)·105 Pa bosim ostida po'lat qoliplarni to'ldiradi.

Bosim ostida quyish usuli bilan elektr apparatlari va asboblari uchun murakkab shaklli buyumlar (22-rasm) tayyorlanadi.

Quyma buyumlardan parafinni yo'qotish uchun ular o'tga chidamli qutichalarga—kapsellarga joylashtiriladi. Kapsellardagi quyma buyumlar orasidagi bo'shliqlar giltuproq kukuni bilan to'ldiriladi (Kapsellar buyumlar bilan birgalikda 800°C gacha bir me'yorda qizdiriladi va shu temperaturada ushlab turiladi. Parafin quyma buyumlardan ajralib chiqadi va giltuproq kukuniga shimiladi. Parafin yo'qotilgandan keyin buyumlar pechlarda 1280—1350°C temperaturada pishiriladi.



22-rasm. Transformator g'altagining quyma steatit massasidan quyib tayyorlangan karkasi.

Qaynoq holda bosim ostida quyish usuli bilan olingan steatit buyumlarning sirti zich va tekis bo'ladi. Boshlang'ich steatit massani (steatit spekni) tashkil etuvchi kuydirilgan minerallar qo'shilgan quyish massasidan tayyorlangan buyumlarning hajmiy qisqarishi kichik (5 %) bo'ladi. Steatitning asosini klinnoenstatit ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) kristallari tashkil etadi. Ularning miqdori steatitda 70 % atrofida bo'ladi, qolgan 30 %ni shisha tashkil etadi.

10-jadvalda elektr chinini bilan steatitning asosiy xarakteristikallari keltirilgan.

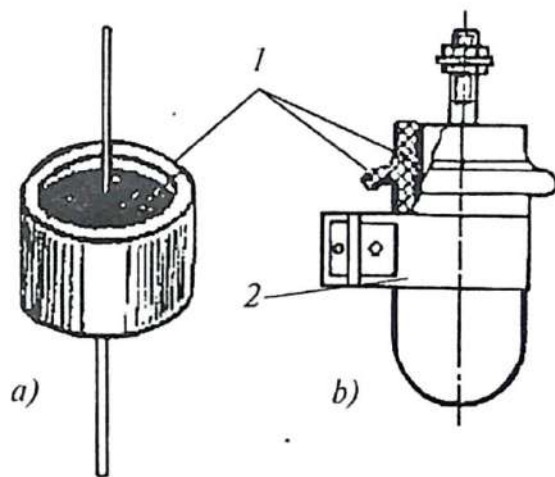
Kondensatorlarga ishlatiladigan keramik materiallar keramikadan yasalgan izolator ishlatiladigan keramik materiallardan dielektrik singdiruvchanlik qiymatining kattaligi ($\epsilon=14-250$)

bilan farq qiladi. Bu esa keramikadan katta sig'imli va nisbatan kichik o'lchamli kondensatorlar tayyorlashga imkon beradi. Keramik kondensatorlar gigroskopik emas, shu sababli qog'oz hamda sluda kondensatorlar uchun zarur bo'lgan himoya korpuslari hamda qobiqlar ular uchun kerak emas. Keramik kondensatorlar ishlab chiqarish texnologiyasi qog'oz va sluda kondensatorlar ishlab chiqarishga qaraganda ancha soddadir.

Keramik kondensatorlar keramika texnologiyasining metodlari, ya'ni gips yoki po'lat qoliplarga quyish, presslash va boshqa metodlar bilan tayyorlanadi. Biror usul bilan tayyorlangan kondensatorlar pechlarda $1450-1700^{\circ}\text{C}$ temperaturalarda pishiriladi. Natijada, nam tortmaydigan, mexanikaviy puxta kondensatorlar olinadi (23-rasm).

Keramik kondensatorlar sirti (kuydirish usuli bilan) $15-20$ mkm qalinlikda sidirg'a kumush elektrodlar bilan qoplanadi va bu elektrodga mis simlar kavsharlanadi. Elektrodni korroziyalanishdan saqlash va qisqa tutashuv bo'lishining oldini olish uchun keramik kondensatorlar sirtining hammasiga namlik ta'siriga chidamli emal qatlami qoplanadi.

Kondensator yasaladigan keramik materiallarning dielektrik singdiruvchanlik qiymati katta bo'lishi kerak. Buning uchun ularda qutblanish protsesslari uzluksiz sodir bo'lib turishi lozim. Shu bilan birga kondensator yasaladigan materiallarning boshqa elektrik



23-rasm. Keramik kondensatorlar:

a) bochkasimon; b) garshoksimon; 1—elektrodlar; 2—latun oboyma.

xarakteristikalarini ham yuqori bo'lishi zarur: $\rho_i = 10^{12} - 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\text{tg}\delta = 0,0005$; $E_m = 20 - 25 \text{ MV/m}$. Titan (IV)-oksid TiO_2 , qalay (IV)-oksid SnO_2 yoki sirkoniy (IV)-oksid ZrO_2 bilan ishqoriy metallarning yoki ishqori yer metallarning oksidlaridan (CaO ; MgO , ZrO va boshqalardan) hosil bo'lgan birikmalar asosida olingan materiallar bu talablarga javob beradi. Kondensator materiallar olish uchun bu kukunsimon oksidlar muayyan nisbatda bir-biri bilan aralashtiriladi va yaxshilab maydalanadi. Plastiklik xususiyatini berish uchun kondensatorlarga ishlatiladigan ayrim massalarga ozroq miqdorda gilsimon moddalar qo'shiladi. Lekin bu, keramik kondensatorlarning elektrik xarakteristikalarini yomonlashtiradi.

Titan (IV)-oksid asosida olingan keramik kondensator materiallari titanatlar deyiladi, masalan, magnit titanat MgTiO_3 . Qalay (IV)-oksid asosida olingan keramik materiallar stannatlar deyiladi, masalan kalsiy stannat CaSnO_3 . Sirkoniy (IV)-oksid asosida olingan keramik materiallar sirkonatlar deyiladi, masalan bariy sirkonat BaZrO_3 va boshqalar.

Dielektrik singdiruvchanlik qiymati, shuningdek, uning temperatura koeffitsiyentining kattaligi va ishorasi materialning tarkibi hamda strukturasi bilan 1 aniqlanadi.

Agar segnetoelektrik plastinkaning tomonlariga mexanikaviy kuch qo'yib, ular siqilsa yoki cho'zilsa, plastinkaning qarama-qarshi sirtlarida turli ishorali elektr zaryadlar paydo bo'ladi. Natijada, segnetoelektrik plastinkasi e. yu. k. manbayi bo'lib qoladi. Bu hodisa to'g'ri pezoeffekt deyiladi. U segnetoelektriklardan bosimni o'lchash uchun elektr datchik sifatida foydalanishga imkon beradi.

Agar segnetoelektrik plastinkasiga o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilsa, plastinka kuchlanishning chastotasiga teng chastota bilan tebrana boshlaydi. Bu hodisa «teo kari pezoeffekt» deyiladi. Segnetoelektriklardan tayyorlanadigan pezoelementlar yuqori sifatli tebranishlar manbayi bo'lib xizmat qiladi.

Yaqin vaqtlarga qadar segnet tuzi ($\text{NaKS}_4\text{N}_4\text{O}_6\cdot 4\text{N}_2\text{O}$) yagona segnetoelektrik hisoblanar edi. U suvda eriydigan va 55°C da suyuqlanadigan modda bo'lib, bu xossalari esa undan foydalanishni qiyinlashtirar edi.

1943-yilda dastlabki keramik segnetoelektrik—bariy titanat (BaTiO_3) sintez qilindi. Hozirgi paytda ko'pgina keramik segnetoelektriklar: kadmiy titanat (CdTiO_3), qo'rg'oshin sirkonat (PbZrO_3) va boshqalar yaratilgan. Keramik segnetoelektriklar nam yutmaydi, suvda erimaydi va ancha keng temperaturalar intervalida ishlashi mumkin.

Barcha segnetoelektriklar faqat muayyan temperaturagacha o'ziga xos segnetoelektrik xossalarga ega bo'ladi. Masalan, bariy titanatning segnetoelektrik xossalari 120°C ga, qo'rg'oshin sirkonatniki esa 461°C ga qadar saqlanib turadi. Bu temperaturalar yuqorida segnetoelektriklar o'ziga xos xususiyatlarini yo'qotadi va oddiy dielektriklarga aylanib qoladi.

2.20. Silikat (anorganik) shishalar

Anorganik shisha arzon materialdir, chunki u oson olinadigan moddalardan: kvarts qumi SiO_2 , soda Na_2CO_3 , dolomit $\text{CaSO}_3\text{--MgCO}_3$, bo'ri CaSO_3 va ba'zi boshqa komponentlardan tayyorlanadi. Bu moddalarning muayyan nisbatlarda olingan aralashmasi shixta deyiladi. Shixta shisha pishirish pechiga solinadi va $1350\text{--}1600^\circ\text{C}$ ga qadar qizdirib suyuqlantiriladi, bunda hosil bo'lgan suyuq shisha massadan turli xil shisha buyumlar tayyorlanadi.

Shisha hosil qiladigan asosiy modda kvarts qumi bo'lib, uning tarkibida 98 % bo'ladi. Amalda shishani bitta kvarts qumining o'zidan ham olish mumkin, lekin u juda yuqori temperaturada (2000°C atrofida) suyuqlanadi. Buning uchun qimmat turadigan pechlar va boshqa murakkab uskunalar kerak. To'g'ri, sof kvarts shishaning qator qimmatli xossalari bo'ladi: elektrik xarakteristikalar juda yuqori, namlik ta'siriga chidamli (gidrolitik barqarorlik) va chiziqli uzayish temperatura koeffitsiyenti juda kichik ($5 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$) bo'ladi. Bular kvarts shishani qizdirishga nihoyatda chidamliligiga sabab bo'ladi. Masalan, kvarts shishadan tayyorlangan buyumlarni cho'g' bo'lguncha qizdirib, sovuq suvga botirilsa darz ketmaydi. Qizdirishga chidamli ba'zi elektr izolatsion buyumlar (kichikroq izolatorlar) sof kvarts shishadan tayyorlanadi.

Kvarts shishaning asosiy xarakteristikalar: zichligi 2200 kg/m^3 ; $\rho_v = 10^{14}\text{--}10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon = 3,8$; $\text{tg}\delta = 0,0001$; $E_m = 35\text{--}44 \text{ MV/m}$.

Shishaning boshqa turlarini olish uchun tarkibida kvarts qumidan tashqari shixtaning suyuqlanish temperaturasini kamaytiruvchi moddalar ham qo'shiladi. Bu moddalarga kalpinatsiyalangan soda, bo'ri, dolomit va ba'zi boshqalar kiradi.

Shisha kristallanishining oldini olish uchun shixta tarkibiga gilyuproq Al_2O_3 , borat angidrid V_2O_3 kabi moddalar ham qo'shiladi.

Shixta qizdirilganda undan dastlab namlik bug'lanib ketadi. Gazlar atmosferaga uchib chiqib ketadi, qolgan natriy, kaliy, kalsiy oksidlari va boshqalar qumtuproq (SiO_2) bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi va silikatlar deyiladigan murakkab birikmalar hosil qiladi. Shu sababli anorganik shishalar silikat shishalar deyiladi.

$1350\text{--}1600^\circ\text{C}$ temperaturada silikatlar suyuqlanib, qovushqoq shisha massa hosil qiladi, bundan turli xil shisha buyumlar tayyorlanadi. Masalan, metall qoliplarga puflash yo'li bilan lampa ballonlari, presslash yo'li bilan esa shisha izolatorlar va boshqa buyumlar tayyorlanadi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra, barcha silikat shishalarni to'rtta guruhga: ishqoriy, tarkibida og'ir oksidlar bor ishqoriy, kam ishqoriy va ishqorsiz shishalar guruhlariga bo'lish mumkin.

Ishqoriy shishalar nisbatan oson suyuqlanadi (1350°C), tarkibida ishqoriy oksidlar (asosan Na_2O va qisman K_2O) ko'p miqdorda bo'ladi. Shishalarning bu guruhiga deraza oynasi, idish-tovoq va butilka yasaladigan shishalar kiradi. Ishqoriy shishalarning elektr xarakteristikalari qiymatlari past, chiziqli kengayish temperatura koeffitsiyenti katta va shu sababli issiqbardoshligi past bo'ladi.

Tarkibida og'ir oksidlar bo'ladigan ishqoriy shishalar elektr xarakteristikalarining qiymatlari katta bo'ladi. Bu gruppaga flintlar (tarkibida PbO bo'ladi) va kronlar (tarkibida V_2O_5 bo'ladi) kiradi. Ular elektr izolatsion buyumlar (kondensatorlar, izolatorlar va boshqalar) tayyorlash uchun ishlatiladi.

Kam ishqoriy shishalar tarkibida ko'pi bilan 5 % ishqoriy oksidlar bo'ladi. Bu xil shishalardan yuqori kuchlanishda ishlaydigan shisha izolatorlar tayyorlanadi.

Ishqorsiz shishalar tarkibida ishqoriy oksidlar mutlaqo bo'lmaydi (masalan, kvarts shisha) yoki ko'pi bilan 2 % bo'ladi. Ulardan elektr izolatsion shisha to'qimalar uchun shisha tolalar tayyorlanadi. Bu shishalar suyuqlanish temperaturasi ancha yuqoriligi bilan farq qiladi. Suyuqlanish temperaturasini pasaytirish uchun shisha tarkibiga borat angidrid (10 %gacha) qo'shiladi.

So'nggi yillargacha barcha izolatorlar elektrotexnika chinnisidan tayyorlanar edi. Bu maqsad yo'lida shishadan foydalanishga urinishlar muvaffaqiyatsiz chiqar, chunki shisha izolatorlarning mexanikaviy mustahkamligi va issiqbardoshligi yetarli darajada emas edi.

Kam ishqoriy shishalarning asosiy xarakteristikakari

7-jadval

T/r	Xarakteristikasi	Kam ishqoriy shisha 13V
1	Zichligi, kg/m^3	260
2	Statik egilishdagi mustahkamlik chegarasi, N/m^2	$2500 \cdot 10^5$
3	Solishtirma hajmiy qarshiligi, Omm	10^{12}
4	Solishtirma sirt qarshiligi, Om	10^{16}
5	Dielektrik isroflar burchagi tangensi,	0,02–0,025
6	Elektr mustahkamligining o'rtacha qiymati, MV/m	45–48

Hozirgi paytda kam ishqoriy izolator shishasining tarkibi va toblangan shishadan izolatorlar tayyorlash texnologiyasi ishlab chiqilgan. Bu texnologiyaga muvofiq, pechning vannasidan chiqadigan shishasimon shishamassa avtomatik pressning cho'yan press qolipiga uzatiladi. Puanson yordamida izolator presslanadi, so'ngra qizigan izolator qolipdan olinadi va soplo orqali keladigan sovuq havo bilan hamma'tomonidan bir me'yorda puflanadi.

Toblangan shisha izolatorlarning mexanikaviy mustahkamligi toblanmaganlarnikiga qaraganda 2—3 marta yuqori (hatto shisha izolatorlarnikidan ham yuqori) bo'ladi. Shu sababli toblangan shisha izolatorlarning o'lchamlari chinni izolatorlarnikiga nisbatan kichik (10—20 %) bo'ladi. Kam ishqoriy shishaning elektrik va mexanikaviy xarakteristikalari 7-jadvalda keltirilgan.

O'lchamlari kichik shisha izolatorlar (10 kV gacha mo'ljallangan shtirli izolatorlar va ba'zi boshqalari) toblanmagan shishadan tayyorlanadi. Bu holda pressavtomatlarda presslangan izolatorlar pechlarda yumshatiladi. Bunda izolatorlarning temperaturasi asta-sekin ko'tariladi, so'ngra esa xona temperaturasigacha asta-sekin pasayadi.

Shisha izolatorlarni presslash vaqtida notekis sovishi hisobiga ularda paydo bo'lgan ichki kuchlanishlar yumshatish jarayonida yo'qoladi.

2.21. Mineral dielektriklar

Keng ko'lamda ishlatiladigan mineral dielektriklar jumlasiga asbest va asbestosement kiradi.

Asbest (toshpaxta) tabiiy mineral bo'lib, tolali guzilishga ega. Uning tolalari diametri millimetrining mingdan bir ulushlari qadar va uzunligi bir necha santimetrga yetadigan ingichka alohida-alohida tolachalarga (qillarga) oson ajraladi. Turli xil elektr izolatsion materiallar (qog'oz, kalava, lenta, kartonlar) tayyorlash uchun, asosan, zerizotil asbestdan foydalaniladi, u magniy silikat ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan iborat.

Asbest tolalari suvni shimmaydi, lekin suv pardasi bilan qoplanadi. Asbestning gigroskopikligi va tarkibida turli xil aralashmalar borligi sababli asbest materiallarning (asbest qog'oz va to'qimalarning) elektrik xarakteristikalari yuqori emas: ($\rho_v = 10^6 \text{ Om} \cdot \text{sm}$; $E = 1\text{—}2 \text{ MV/m}$). Asbestning asosiy xarakteristikalari: zichligi 2500 kg/m^3 ; $\sigma_{\text{ch}} = (300\text{—}400) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

Asbestning asosiy afzalligi uning qizdirishga juda chidamliligi va yonmasligidir. 1450°C ga yaqin temperaturada asbest suyuqlanadi. Asbestni ishlatish temperaturasi 450°C . 450°C dan yuqori temperaturada asbestdan kimyoviy bog'langan suv chiqib keta boshlaydi va uning tolalari mexanikaviy mustahkamligini yo'qotadi.

Asbest tolalardan qalinligi 0,2—1 mm li elektr izolatsion qog'oz va qalinligi 2—10 mm li kartonlar tayyorlanadi. Asbest qog'ozning mexanikaviy mustahkamligini oshirish uchun unga ozroq miqdorda paxta tolasi qo'shiladi. Bundan tashqari, faqat asbest tolaning o'zidan iborat qog'ozlar ham chiqariladi, bu qog'ozning qizdirishga nihoyatda chidamli bo'lishini ta'minlaydi. Asbst qog'oz va kartonlarning namni yutishi 24 soat davomida 3—4 % ni tashkil etadi.

Asbest kalavadan (ipdan) asbest to'qimalar va lentalar tayyorlanadi. Asbest to'qimalarning qalinligi 1,6—2,9 mm bo'ladi.

Polotnoga (surpga) o'xshatib to'qilgan asbest lentalar mexanikaviy mustahkamligini oshirish uchun 30 %ga yaqin paxta tolasi qo'shilgan kalavadan tayyorlanadi. Ular qalinligi 0,4—0,6 mm va eni 20—30 mm li qilib chiqariladi. Bu lentalar yuqori kuchlanishli elektr mashinalar chulg'amlarining seksiyalarida va qutb g'altaklarini izolatsiyalash uchun ishlatiladi. Tarkibida 8 %ga yaqin temir oksidlari bo'ladigan temirli asbestdan tayyorlangan lentalar ham shu maqsadlarda ishlatiladi. Shu sababli bu lentalarining solishtirma hajmiy qarshiligi juda kichik bo'ladi: $\rho = 103—104 \text{ Om}\cdot\text{m}$. Bu lentalar chulg'amlar stator o'zagining pazlaridan chiqib turadigan qismlarida elektr maydonni bir xillikka keltirish uchun ishlatiladi (chulg'amlarning bu qismlarida elektr maydonning kuch chiziqlari quyuqlashgan bo'ladi, natijada, chulg'amlarning izolatsiyasi teshilishi mumkin).

Asbest materiallarning deyarli hammasi lok va kompaundlar shimdirilgan holda ishlatiladi. Shimdirish natijasida asbest qog'oz va to'qimalarning gigroskopikligi yo'qoladi hamda ularning elektrik xarakteristikalari yaxshilanadi.

Asbestotsement asbest tola bilan portlandsementdan tayyorlanadi. U anorganik plastmassa bo'lib, unda portlandsement bog'lovchi modda, asbest tolalar esa to'ldirgich vazifasini o'taydi.

Asbestotsement tayyorlash prodesi titilgan asbestni sement va suv bilan aralashtirishdan iborat. Yaxshilab qorishtirilgan aralashmadan maxsus asbestosement mashinada listlar quyiladi. Nam listlar presslanadi, quritiladi va taxtalar ko'rinishida qir qiladi.

Chiqariladigan taxtalarining uzunligi 1200 mm, eni 700 va 800 mm, qalinligi esa 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 va 40 mm bo'ladi. Taxtalarining mexanikaviy mustahkamligi zarbiy qovushqoqlik kattaligi bilan xarakterlanadi, u kamida (4—6) 105 N/m^2 bo'lishi kerak.

Loklar shimdirilmagan asbestosement taxtalarining suv singdiruvchanligi katta—15—20 % bo'ladi. Shu sababli asbestosement taxtalar past kuchlanishli elektr qurilmalarda (elektr apparatlarda

kongaktorlarning asoslari, to'siqlar va uchqun so'ndirish kameralari) asosan, biror modda shimdirilgan holda ishlatiladi. Asbestotsementdan tayyorlangan buyumlarga mexanikaviy ishlov berilganidan (parmalash, frezalash va boshqalar) hamda buyumlar 110—120°C da quritilgandan keyin suyuqlantirilgan parafin, bitum va boshqalar shimdiriladi.

2.22. Qattiq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi

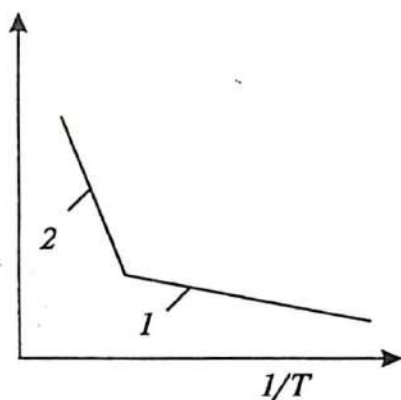
Qattiq dielektriklarda, asosan, ionli elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Bunda to'g'ri teshib o'tadigan tok erkin ionlarning bir tomonga yo'nalgan harakatlanishidan iborat bo'ladi. Ozroq miqdorda dielektriklarda bo'ladigan aralashmalar molekulalarining dissotsialanishi (parchalanishi) natijasida erkin ionlar hosil bo'ladi. Bunday aralashmalar organik kislotalar, ishqoriy oksidlar (Na_2O ; K_2O) namlik va boshqa iflosliklardan iborat bo'lishi mumkin.

Qattiq dielektriklarning o'tkazuvchanlik tokida dielektrikning o'z ionlari ham ishtirok etishi mumkin, bu hol yuqori temperaturalarda kuzatiladi. Shu sababli ma'lum temperaturadan boshlab qattiq dielektrikning solishtirma hajmiy o'tkazuvchanligi orta boshlaydi (24-rasm). Masalan, elektrotexnikaviy chinnida solishtirma hajmiy o'tkazuvchanlik 100°C va undan yuqorida keskin ortib ketadi.

Qattiq dielektriklarga katta kuchlanishlar qo'yilganda ularda erkin elektronlar ham paydo bo'ladi.

Ular erkin ionlar bilan birgalikda o'tkazuvchanlik tokida ishtirok etadi, shu sababli bu tok ko'payib ketadi. Bunda qattiq dielektrikning hajmiy elektr o'tkazuvchanligi ko'payadi.

Qattiq dielektriklarning sirt elektr o'tkazuvchanligi ular sirtining namlik va ifloslanganlik darajasiga bog'liq. Qattiq dielektrikning sirti qanchalik ko'p namlangan va ifloslangan bo'lsa, bunday dielektrikning solishtirma sirt



24-rasm. Qattiq kristall dielektrik solishtirma hajmiy o'tkazuvchanligining temperaturaga bog'liqligi:

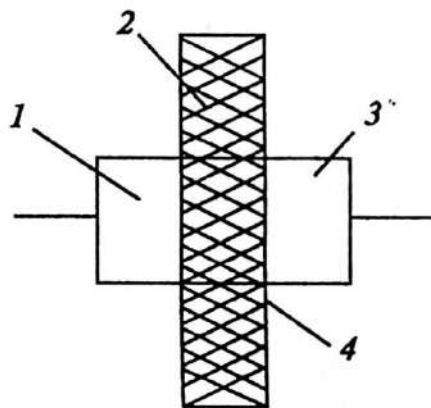
- 1—aralashmali o'tkazuvchanlik zonasi;
- 2—xususiy o'tkazuvchanlik zonasi.

qarshiligi shunchalik kichik bo'ladi. Qattiq dielektriklar sirtini gidrofob, suvda ho'llanmaydigan qoplamalar: lok va emallar bilan himoya qilish zarurati tug'iladi.

Qattiq dielektriklarning teshilishi—bu elektr yoki issiqlik protsessidir. Elektr jihatdan teshilishi dielektrikka katta kuchlanishlar qo'yilganda vujudga keladigan zarbiy ionlanish hodisasidan boshlanadi. Qattiq dielektrikdagi zarbiy ionlanish protsessi gazlardagi zarbiy ionlanish protsessiga o'xshaydi, lekin bunda ionlanish elektr maydon kuchlanganligining ancha katta qiymatlarida sodir bo'ladi. Erkin elektronlarning dielektrikning molekula va atomlari bilan tez-tez to'qnashuvi natijasida yangi elektronlar ajralib chiqadi. Ular qattiq dielektrikni butun qalinligi bo'ylab teshib o'tuvchi elektronlar oqimini vujudga keltiradi. Bunda dielektrik o'zining elektr izolatsion xossalarini yo'qotadi.

Qattiq dielektriklarning elektr jihatdan teshilishi amalda kam uchraydi. U dielektrikda energiya isroflari kam va issiqlikning olib ketilishi yaxshi ta'minlangan hollarda vujudga kelishi mumkin. Elektr jihatdan teshilishida elektr mustahkamlik dielektrikning qalinligiga va uning temperaturasiga unchalik bog'liq bo'lmaydi.

Issiqlik ta'siridan teshilishi—bu dielektrikning issiqlik ta'sirida yemirilishi: suyuqlanib ketishi, dielektrikning kuyib ikkita qarama-qarshi



25-rasm. Issiqlik ta'sirida teshilganda, qattiq dielektrikda kanal hosil bo'lish chizmasi:

1 va 3—metall elektrodlar; 2—dielektrik; 4—yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kanal issiqlikdan teshilish yo'nalishi.

elektrodni birlashtiruvchi kanal hosil qilish hodisasidir. Dielektrik hajmining bir qismida elektr o'tkazuvchalik yuqori bo'lishi mumkin, natijada undan (kanaldan) sezilarli darajada o'tkazuvchanlik toki o'tadi. Bu tokning o'tishi tufayli issiqlik ajralib chiqadi va bu kanal qiziydi, natijada, uning elektr qarshiligi pasayadi va, binobarin, teshib o'tuvchi tok ko'payadi. Bu hol, o'z navbatida kanalda qo'shimcha issiqlik ajralib chiqishiga va dielektrik bu qismining o'ta qizib ketishiga sabab bo'ladi. Quchlanish yanada ko'payganida kanaldagi o'tkazuvchanlik toki yanada ortadi, u ajratib chiqarayotgan issiqlik esa qattiq dielektrikni batamom kuydirib yuborishi yoki suyuqlantirishi mumkin (25-rasm).

Issiqlik ta'siridan teshilishida elektr mustahkamlik ma'lum darajada temperaturaga bog'liq bo'ladi va dielektrikning qalinligi ortishi bilan kamayadi (25-rasm). Temperatura ko'tarilishi yoki qattiq dielektrikning qalinligi ortishi bilan undan issiqlikning olib ketilishi qiyinlashadi. Buning natijasida dielektrikda teshilish joyi o'ta qizib ketadi va elektr maydon kuchlanganligining kichikroq qiymatlarida ham dielektrik issiq lok ta'sirida yemiriladi.

III bob. O'TKAZGICH MATERIALLAR

3.1. Solishtirma qarshiligi kam bo'lgan o'tkazgich materiallar

Metall o'tkazgich materiallar polikristall tuzilishli moddalardir, ya'ni ular juda ko'p mayda kristallardan tarkib topgan. Metall o'tkazgichlardan ko'pchiligining (kumush, mis, aluminiy va boshqalarning) o'tkazuvchanligi yuqori bo'ladi. Ularning solishtirma elektr qarshilik qiymati kichik bo'ladi: $\rho=0,0150-0,0283 \text{ Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$. Bular, asosan, sof metallar bo'lib, simlar va kabellar tayyorlash uchun ishlatiladi. O'tkazuvchanligi katta bo'lgan o'tkazgichlar bilan birga solishtirma qarshiligi katta $\rho=0,4-2,0 \text{ Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$, bo'lgan o'tkazgich materiallar ham kerak bo'ladi. Bu o'tkazgich materiallar namunaviy qarshiliklar, rezistorlar, isitish asboblari va boshqalar tayyorlashga sarflanadi. Metall o'tkazgich materiallarning hammasi elektron o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni ularda o'tkazuvchanlik toki erkin elektronlarning bir yo'nalishda harakatlanishidan iborat.

Temperatura ko'tarilishi bilan metall o'tkazgichlarning elektr qarshiligi ortadi. Bunga sabab shuki, temperatura ko'tarilishi bilan o'tkazgich atomlarining issiqlikdan tebranishi ancha kuchayadi. Bunda o'tkazgichda harakatlanayotgan elektronlar atomlar bilan tobora tez to'qnashib, o'zining harakat yo'lida qarshilikka uchraydi. Shu sababli barcha o'tkazgichlarda solishtirma qarshilikniig temperatura koeffitsiyenti noldan katta bo'ladi.

Mis, bronza, aluminiy, kumush, volfram o'tkazuvchanligi katta bo'lgan eng muhim o'tkazgich materiallarga kiradi.

Mis o'tkazgich—turli xil aralashmalardan tozalangan qizg'ish zarg'aldoq tusli, suyuqlanish temperaturasi 1083°C va chiziqli kengayish temperatura koeffitsiyenti $17\cdot 10^{-6} \text{ 1}^\circ\text{C}$ ga teng bo'lgan metall. Mis yaxshi mexanikaviy xossalarga, shuningdek, plastiklikka ega. Bu misdan diametri $0,03-0,01 \text{ mm}$ gacha bo'lgan simlar, shuningdek, yupqa lentalar olishga imkon beradi. Mis havoda yupqa oksid (SuO) qavati bilan qoplanganligi uchun mis o'tkazgich atmosfera ta'sirida deyarli korroziyalanmaydi. Oksidning himoya qatlami havo kislorodining mis ichiga kirib borishiga to'sqinlik qiladi.

O'tkazgich buyumlar (chulg'am simlari, montaj simlari va kabellar) tayyorlash uchun tarkibidagi kislorodning miqdori jihatdan bir-biridan

farq qiladigan M0 va M1 markali mis o'tkazgich ishlatiladi. M0 misli kislorod ko'pi bilan 0,02 %, M1 misda esa ko'pi bilan 0,05 % bo'ladi. Boshqa aralashmalarning (vismut, surma, mishyak, nikel, oltingugurt) miqdori ikkala markadagi misda bir xil bo'lishi mumkin. Aralashmalarning umumiy miqdori: M0 misda — ko'pi bilan, 0,05 %, M1 misda—ko'pi bilan 0,1%. Ikkala markadagi misdan ham tok o'tkazuvchi simlar tayyorlanadi. Diametri 0,01 dan 10 mm gacha bo'lgan simlar chiqariladi.

Yumshoq misdan tayyorlangan buyumlarning asosiy xarakteristikalari quyidagicha: zichligi 8900 kg/m^3 , cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi $\sigma_{ch} = (20-25) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; solishtirma cho'zilishi $\epsilon_{ch} = 15-40 \%$; $\rho = 0,0172-0,01724 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Qattiq misdan tayyorlangan buyumlarning zichligi 8960 kg/m^3 ; $\sigma_{ch} = (36-42) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{ch} = 0,5-3 \%$; $\rho = 0,0178-0,0182 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Kichik diametrli simlarning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi va solishtirma elektr qarshiligi katta bo'ladi. Diametri juda kichik diametrli (0,01 mm) va yuqori temperaturada (300°C dan ortiq) ishlatish uchun mo'ljallangan simlar uchun kislorodsiz misdan* (M00 markali) tayyorlangan sim ishlatiladi, u nihoyatda tozaligi bilan (aralashmalarning umumiy miqdori ko'pi bilan 0,01 % bo'ladi) farq qiladi. Misning barcha markalari uchun solishtirma qarshilikning temperatura koeffitsiyenti $\text{TK } \rho = -0,004 \text{ I}^\circ/\text{C}$.

Ayrim bronzalarning markalari va tarkibi (aralashmalarning umumiy miqdori ko'pi bilan 0,01 % bo'ladi) farq qiladi. Misning barcha markalari uchun solishtirma qarshilikning temperatura koeffitsiyenti $\text{TK } \rho = -0,004 \text{ I}^\circ/\text{C}$.

Bronzalar — mis asosida olingan qotishmalar bo'lib, undan buyumlar quyishda hajmiy kichrayishi kamligi bilan farq qiladi. Bronzalarda hajmiy kichrayishi 0,6—0,8 %, po'lat va cho'yanda esa bu ko'rsatkich 1,5—2,5 %ni tashkil etadi.

Bronzalarning asosiy tiplari misning qalay (qalayli bronzalar), aluminiy (aluminiyli), berilliy (berilliyli) kabi legirlovchi elementlar bilan hosil qilgan qotishmalaridir. Bronzalarning markasi Br (bronz) harflari bilan belgilanadi, bu harflardan keyin ayni bronzada qanday legirlovchi elementlar qancha miqdorda borligini ko'rsatuvchi harf hamda raqamlar keladi (8-jadval).

Bronzalarga qirqish yo'li bilan, bosim ostida ishlov berish oson, ular yaxshi kavsharlanadi. Ulardan lenta va simlar tayyorlanadi, bu lenta va simlardan esa deformatsiyalanuvchi kontaktlar, tok o'tkazuvchi prujinalar va boshqa tok o'tkazuvchi hamda konstruksion detallar ishlab chiqariladi.

Bronza detallarning mustahkamligini oshirish uchun ularga termik ishlov beriladi: toblanadi, so'ngra esa optimal temperaturalarda bo'shatiladi.

Ayrim bronzalarning markalari va tarkibi

8-jadval

Markasi	Legirlovchi elementlar miqdori, % mas.					
	qalay	fosfor	berilliy	aluminium	nikel	mis
Br010	10	—	—	—	—	qolgani
BrOF6,5-0,15	6-7	0,15	—	—	—	“—“
BrA7	—	—	—	6-8	—	“—“
BrB2	—	—	2-2,2	—	0,2-0,5	“—“

Elektr o'tkazuvchanligi jihatidan bronzalar misdan keyinda, lekin mexanikaviy mustahkamligi, elastikligi, yedirilishga qarshiligi va korroziyaga chidamliligi jihatidan undan ustun turadi. 9-jadvalda bronzalar bilan misning asosiy xarakteristikalarini taqqoslangan.

Bronzalar bilan misning asosiy xarakteristikalarini

9-jadval

Material	Ishlov berish xarakteri	O'tkazuvchanligi, %	Cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi, N/m ²	Cho'zilganda nisbiy cho'zilishi, %
Mis otkazgich (99,95 % CU)	yumshoq qattiq	100 98	(20-25)·10 ³ (36-42)·10 ³	40 3
Fosforli bronza (6-7 % qalay, 0,15 fosfor)	yumshoq qattiq	15 10	(40-45)·10 ³ (95-105)·10 ³	60 3
Berilliyli bronza (2 % berilliy, 0,5 % nikel)	yumshoq qattiq	36 26	(70-79)·10 ³ (160-175)·10 ³	20 9

Aluminium nisbatan yaxshi o'tkazuvchanligi va atmosfera korroziyasiga chidamliligi tufayli misdan keyin ikkinchi o'tkazgich material hisoblanadi. Aluminium zichligi 2700 kg/m³ bo'lganligi uchun yengil metallar gruppasiga kiradi, ya'ni u misdan 3,3 marta yengil. Aluminium—suyuqlanish temperaturasi 658°C bo'lgan kumush rang oq, metall, qattiqligi kichik, cho'zilishdagi mexanikaviy mustahkamligi nisbatan kam (7,5—18)·10³

N/m^2 ; bundan tashqari, aluminiyning chiziqli kengayish temperatura koeffitsiyenti ($24 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) misnikiga nisbatan katta, bu esa aluminiyning kamchiligidir.

Havoda aluminiy tezda yupqa oksid parda (Al_2O_3) bilan qoplanadi, u aluminiyni havo kislorodi ta'siridan saqlaydi. Shu bilan birga bu parda anchagina elektr qarshiligiga ega bo'ladi. Shu sababli yaxshi tozalanmagan aluminiy simlarning o'zaro tutashgan joylarida o'tish qarshiliklari katta bo'lishi mumkin.

Aluminiy simlarning boshqa metallarning simlari bilan tutashgan joylari ho'llanganda galvanik juftlar hosil bo'lishi mumkin. Bunda vujudga keladigan galvanik toklar aluminiy simni yemiradi. Galvanik juftlar hosil bo'lishining oldini olish uchun tutashish joylari namlikdan yaxshi himoya qilinadi (masalan, loklanadi). Aluminiyning kimyoviy tozaligi qancha yuqori bo'lsa, u korroziyaga shuncha ko'p qarshilik ko'rsatadi.

Vatanimiz sanoati tozalik darajasi turlicha bo'lgan o'n uch markada aluminiy o'tkazgich chiqaradi. Nihoyatda toza aluminiy markalarida qo'shimchalar (temir, kremniy, rux, titan va mis), ko'pi bilan 0,005 % bo'ladi. Aluminiyning bu turlaridan elektrolitik kondensatorlarning elektrodleri, shuningdek, aluminiy zarqog'oz (folga) tayyorlanadi. Elektr simlar tarkibida ko'pi bilan 0,05 % aralashma bo'lgan aluminiydan (AE markali) tayyorlanadi. Diametri 0,08 dan 10 mm gacha bo'lgan yumshoq (AM), yarim qattiq (APT) va qattiq (AT) aluminiy simlar ishlab chiqariladi.

Yumshoq aluminiydan tayyorlangan buyumlarning xarakteristikallari quyidagicha bo'ladi: $\sigma_{ch} = (7,5-8) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{ch} = 10-25 \%$; $\rho = 0,028 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; yarim qattiq aluminiydan tayyorlangan buyumlarniki: $\sigma_{ch} = (9,5-10) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{ch} = 3 \%$; $\rho = 0,0283 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; qattiq aluminiydan tayyorlangan buyumlarniki: $\sigma_{ch} = (10-18) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{ch} = 0,5-2 \%$; $\rho = 0,0283 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Aluminiyning barcha markalari uchun solishtirma qarshilikning temperatura koeffitsiyenti $0,00423 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ ga teng deb qabul qilinadi.

Aluminiy simlar va tok o'tkazuvchi detallarni bir-biri bilan qaynoq holda yoki sovuqlayin payvandlash, shuningdek, kavsharlash yo'li bilan biriktirish mumkin; lekin bunda maxsus kavshar va fluslar ishlatiladi. Sovuqlayin payvandlash ishi maxsus qurilmalarda bajariladi, bunda aluminiy detallarning tozalangan sirtleri taxminan $10000-10^5 \text{ N/m}^2$ bosimda bir-biriga bosiladi. Bunda biriktirilayotgan detalning kristallari biridan ikkinchisiga diffuziyalanadi, natijada, detallar bir-biri bilan yaxshi birikadi. List holidagi aluminiy ekranlar uchun keng ko'lamda ishlatiladi. Kumush xona temperaturasida havoda oksidlanmaydigan nodir metallar guruhiga kiradi. Kumush 200°C va undan yuqori temperaturada

tez oksidlana boshlaydi. Barcha nodir metallar kabi kumush ham juda plastik metall, bu hol undan zarqog'oz va diametri 10,01 mm li simlar olishga imkon beradi. Bundan tashqari, kumush eng yuqori o'tkazuvchanligi bilan ham ajralib turadi.

Kumush o'tkazgichning asosiy xarakteristikalarini quyidagicha: zichligi 10500 kg/m^3 ; suyuqlanish temperaturasi $960,5^\circ\text{C}$; $\text{TKLR}=19,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, ya'ni misnikidan biroz kattaroq; yumshoq kumushdan yasalgan buyumlarniki: $\sigma_{\text{ch}}=(15-18) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\varepsilon_{\text{ch}}=45-50 \%$; $\rho=0,015 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; qattiq kumushdan yasalgan buyumlarniki: $\sigma_{\text{ch}}=(20-30) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\varepsilon_{\text{ch}}=4-6 \%$; $\rho=0,0158 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. $\text{TQ}\rho=0,00369 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Mis va aluminiyga nisbatan kumush cheklangan miqdorda ishlatiladi; mis, nikel va kadmiy bilan hosil qilgan qotishmalari kichikroq toklarga mo'ljallangan rele va boshqa asboblarning kontaktlarida, shuningdek PSr-10; PSr-25 kabi kavsharlarda ishlatiladi.

Volfram qiyin suyuqlanadigan metallar gruppasiga kiradi, elektrotexnika sanoatida elektr kontaktlar uchun va elektrovakuum asboblarning (cho'g'lanish lampalarining simlari, elektrodlar va boshqalar) detallari uchun yedirishga chidamli material sifatida keng ko'lamda ishlatiladi.

Volfram—suyuqlanish temperaturasi juda yuqori va nihoyatda qattiq kulrang metall. Volfram kukun metallurgiya metodi bilan, ya'ni presslangan metall zarrachalarini qizdirib qovushtirish natijasida olinadi. Buning uchun volfram zarrachalaridan (kukunlaridan) po'lat press-qoli plarda presslash yo'li bilan sterjenlar olinadi. So'ngra ular 1300°C temperaturada bir-biriga qovushtiriladi. Qizdirib qovushtirilgan volfram sterjenlarda donador tuzilish hali saqlanib qoladi va ular mo'rt bo'ladi. So'ngra volfram sterjenlar 3000°C temperaturaga qadar qizdiriladi. Mexanikaviy mustahkam metall olish uchun sterjenlar ko'p marta bolg'alanadi va cho'ziladi. Bular orasida sterjenlar qizdirib sovitib turiladi. Bunday ishlov natijasida volfram tolali tuzilishga ega bo'ladi, bu esa volframga katta mexanikaviy mustahkamlik va plastiklik baxsh etadi. Volframdan diametri 0,01 mmgacha bo'lgan simlar tayyorlanadi. Volfram havoda 400°C va undan yuqori temperaturada oksidlana boshlaydi. Volfram detallar vakuumda 2000°C gacha bo'lgan temperaturalarda ham ishlashi mumkin.

Volframning asosiy xarakteristikalarini quyidagicha: zichligi 19300 kg/m^3 ; suyuqlanish temperaturasi 3380°C ; yumshatilgan volframdan tayyorlangan buyumlarda: $\sigma_{\text{ch}}=(5-8) \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$; $\rho=0,0503 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; qattiq volframdan tayyorlangan buyumlarda: $\sigma_{\text{ch}}=18 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho=0,0612 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Qarshilikning temperatura koeffitsiyenti $\text{TK}\rho=0,0048 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

3.2. Solishtirma qarshiligi katta bo'lgan o'tkazgich materiallar

O'tkazgich materiallarning bu guruhi metallarning qotishmalari bo'lib, ularning solishtirma qarshiligi katta va solishtirma qarshiligining temperatura koeffitsiyenti qiymatlari kichik bo'ladi. Shu sababli bu qotishmalardan elektr qarshiligi amalda temperaturaga bog'liq bo'lmagan termostabil rezistorlar va boshqa buyumlar tayyorlash mumkin.

Tartibsiz strukturali metallarning qattiq eritmalaridan iborat qotishmalar yuqorida aytib o'tilgan xossalarga ega bo'ladi. O'tkazgich materiallarning guruhiga asosan—misning nikel bilan hosil qilgan, manganin va konstantan deyiladigan qotishmalaridir.

Manganin —84—86 % mis, 2—3 % nikel va 12—13 % manganesdan iborat qotishma. Manganinning rangi och zarg'aldoq, zichligi 8400 kg/m^3 , suyuqlanish temperaturasi 960°C ; $\text{TKLR}=18 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$. Manganinning ba'zi xillariga kobalt ham qo'shiladi.

Manganindan yasalgan yumshoq buyumlarning asosiy xarakteristikalari: $\sigma_{\text{ch}}=(45-55) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{\text{ch}}=10-25 \%$; $\rho=0,42 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; qattiq buyumlarniki: $\sigma_{\text{ch}}=(55-58) \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $\epsilon_{\text{ch}}=5-9 \%$; $\rho=0,47 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; $\text{TKP}=(2-6) \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Solishtirma elektr qarshiligini $1,5-2 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ga qadar oshirish uchun manganin tarkibiga ko'proq miqdorda manganes (60—67 %) va nikel (16—30%) qo'shib, mis miqdori kamaytiriladi.

Manganin buyumlarning afzalligi shundaki, ularning elektr qarshiligi temperaturaga juda kam bog'liq bo'ladi. Boshqa afzalligi mis bilan kontaktida termo e. yu. k. ning juda kichikligidir ($0,9-1 \text{ mkV}/^\circ\text{C}$).

Manganin buyumlarning elektrik xarakteristikalarini stabillashtirish uchun vakuumda 400°C da qizdiriladi va keyin xona temperaturasida uzoq vaqt saqlab turiladi. Bunday ishlov berish natijasida qotishmaning bir jinsliliigi ortadi va uning xossalari stabillashadi. Manganinning stabillashgan turlari tayyorlangan buyumlar uchun yo'l qo'yiladigan eng yuqori temperatura 200°C , stabillashmaganlaridan tayyorlanganlari uchun esa $60-80^\circ\text{C}$. Bu temperaturalardan yuqorida manganin buyumlarning xossalari qaytmas o'zgarishlar sodir bo'ladi.

Manganindan diametri $0,02-6 \text{ mm}$ li yumshoq va qattiq holda tortiladigan simlar hamda qalinligi $0,08 \text{ mm}$ gacha va eni 270 mm gacha bo'lgan lentalar tayyorlanadi. Bundan tashqari, manganindan emal izolatsiyali tabiiy ipakdan qilingan izolatsiyali, shuningdek, emal vabir qavat tabiiy ipak bilan izolatsiyalangan chulg'am simlari tayyorlanadi. Manganin buyumlar yuqori sinfli rezistorlar va potensiometrilar ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Konstantan—58—60 % mis, 32—40 % nikel va 1—2 % mangesdan tarkib topgan qotishma. Konstantanning rangi kumushrang sariq zichligi 8900 kg/m³; suyuqlanish temperaturasi 1260°C, TKLR=14·10⁻⁶ 1/°C.

Konstantan buyumlarning (simlarning) asosiy xarakteristiklari: yumshog'i $\sigma_{ch}=(40-50) \cdot 10^3$ N/m²; $\epsilon_{ch}=40-50\%$; $\rho=0,48$ Om·mm²/m; qattiq holda cho'zilganiniki: $\sigma_{ch}=(65-72) \cdot 10^3$ N/m²; $\epsilon_{ch}=2-5\%$; $\rho=0,46-0,52$ Om·mm²/m. Konstantandan tayyorlangan buyumlarning solishtirma qarshilik temperatura koeffitsiyenti: $(0-2) \cdot 10^{-5}$ 1/°C, ya'ni konstantan ko'pchilik tarkiblarinng temperaturasi o'zgarishi bilan elektr qarshiligi o'zgarmaydi.

Konstantandan yumshoq va qattiq buyumlar: diametri 0,03 dan 5 mm gacha bo'lgan simlar va qalinligi 0,1 mm gacha bo'lgan lenta tayyorlanadi. Izolatsiyalangan konstanta sim mis sim bilan birgalikda termoparalar tayyorlash uchun ishlatiladi. Konstantan bo'g'imlar (sim, lentalar)dan 450°C dan yuqori bo'lmagan temperaturalarda foydalanish mumkin.

3.3. Olovbardosh o'tkazgich materiallar

Olovbardosh o'tkazgich materiallar jumlasiga nikel, xrom kabi ba'zi komponentlar asosida olingan qotishmalar kiradi. Bu qotishmalarniig olovbardoshligi, ya'ni yuqori temperaturalarda oksidlanmasligi ularning sirtida zichligi katta bo'lgan oksid parda hosil bo'lishi tufaylidir; bu parda qotishmaga kislorodni kiritmaydi. Olovbardosh oksid pardalarning asosi xrom (Sh)-oksid Sr₂O₃ va nikel (P)-oksid NiO dan iborat bo'lib, ular yuqori temperaturalarda qotishma sirtidan bug'lanib ketmaydi. Nikel, xrom va aluminiy asosida olingan olovbardosh o'tkazgich materiallar tegishlicha nixromlar, fexrallar va xromallar deyiladi. Ularning hammasi metallarning tartibsiz strukturali qattiq eritmalaridan iborat, shu sababli bu qotishmalarning solishtirma qarshiligi katta va qarshilik temperatura koeffitsiyentning qiymatlari kichik bo'ladi.

Qotishmalarning markalarida qotishmalarning asosiy qismlari harflar bilan belgilanadi: xrom (X), nikel (N), aluminiy (Yu) va titan (T). Harfdan keyingi raqam shu metallning qotishmadagi o'rtacha miqdorini ko'rsatadi. Masalan, X₂OH8O markali nixrom massasining 20 %ni xrom va 80 %ni nikel tashkil qiladi.

10-jadvalda turmushda ko'p ishlatiladigan ba'zn olovbardosh qotishmalarning tarkibi va asosiy xarakteristiklari keltirilgan. 10-jadvalda ko'rsatilgan asosiy komponentlardan tashqari olovbardosh qotishmalar tarkibiga aralashmalar (0,06—0,15 % uglerod, 0,5—0,35 % fosfor va 0,03 % oltingugurt) ham kiradi, ular shu qotishmalardan tayyorlangan sim va lentalarining ma'lum darajada mo'rtligiga sabab bo'ladi. Har qanday

**Turmushda ko'p ishlatiladigan ba'zi olovbardosh qotishmalarning
tarkibi va asosiy xarakteristikalari**

10-jadval

Qotishma markasi	Qotishma tipi	Tarkibi, % mass					Solishtirma qarshiligi Om mm ² /m	Qarshilikning temperatura koeffitsiyenti 1°C	Yo'l qo'yiladigan temperatura °C
		Xrom	Nikel	Aluminiy	Titan	Temir			
X15N60	Nixrom	15-18	55-61	-	-	-	1,02-1,2	12 10 ⁻⁵	950-1000
X20N80	-	20-23	77-80	-	-	-	1,02-1,15	10	1050-1100
X20N80T	-	19-23	75	-	0,4	Qolgani	1,04-1,17	9 10 ⁻⁵	1000-1100
X20N80T3	-	19-23	Qolgani	-	2-29	2,5	1,08-1,36	9 10 ⁻⁵	1000-1100
X13Yu5	Fexral	12-15	0,6	3,5-5,5	-	Qolgani	1,2-1,3	15 10 ⁻⁵	850-950
0X23Yu5	-	23-27	0,6	4,5-6,5	-	-	1,3-1,5	5 10 ⁻⁵	1150-1200

o'tkazgich qotishma ishlab chiqarishda ham aralashmalarning miqdorini minimumga keltirishga harakat qilinadi.

Olovbardosh qotishmalardan tayyorlangan buyumlar (sim lentalar) asosan elektr qizdirish asboblari, reostatlar va rezistorlarda ishlatiladi.

3.4. Metallokeramik materiallar va buyumlar

Metall kukunlaridan presslash va so'ngra yuqori temperaturada (1000—1400°C) qovushtirish yo'li bilan olinadigan materiallar metallokeramik materiallar deyiladi. Boshlang'ich kukunsimon massalar ikki va undan ortiq metallarning kukunlaridan iborat bo'lib, bu metallardan birining suyuqlanish temperaturasi boshqa metall kukunlarinikiga nisbatan ancha yuqori bo'lishi kerak. Yuqori temperaturada ishlov berilganda, ya'ni kukunsimon massalarni qovushtirib buyumlar olinganda oson suyuqlanuvchan kukunlar suyuqlanib, qiyin suyuqlanuvchan metall zarrachalari orasidagi g'ovaklarni to'ldiradi. Natijada, yaxlit metallokeramik buyumlar olinadi. Aksincha, g'ovak metallokeramik buyumlar, masalan podshipniklar, filtrlar va boshqalar olish lozim bo'lsa, buning uchun taxminan bir xil temperaturada suyuqlanadigan metall kukunlarining zarrachalarni qattiq fazada qovushtirish usuli qo'llaniladi. Ba'zan metall kukunlaridan iborat boshlang'ich massaga metallmas, masalan, grafit kukuni qo'shiladi. Bunday massalar elektr mashinalari uchun metallografit cho'tkalar, elektr kontaktlari va boshqa detallar tayyorlash uchun ishlatiladi. Presslangan kukunsimon massalardan ularning zarrachalarini yuqori temperaturalarda qovushtirish yo'li bilan buyumlar olishning yuqorida bayon qilingan usullari kukun metallurgiyasiga kiradi.

Kukun metallurgiyasining metodlari, qiyin suyuqlanadigan metallarning qotishmalaridan yoki nihoyatda toza metallarning qotishmalaridan buyumlar olish mumkin bo'lmagan hollarda yoxud metallarning metallmaslar bilan qotishmalaridan buyumlar olish zarur bo'lgan hollarda qo'llaniladi. Bundan tashqari, kukun metallurgiyasining metodlari aniq berilgan o'lchamdagi, keyinchalik mexanikaviy ishlov berilmaydigan buyumlar olishga imkon beradi. Natijada, metall chiqindilari ko'rinishidagi isroflar keskin kamayadi. Elektrotexnika sanoatida kukun metallurgiyasining metodlari elektrko'mir buyumlar magnit materiallarning ba'zi turlari va juda aniq elektr kontaktlar tayyorlash uchun keng ko'lamda ishlatiladi.

Kumush, mis, volfram va metallarning qotishmalaridan tayyorlangan metall kontaktlarga nisbatan metallokeramik kontaktlar yedirilishga juda chidamli, siquvchi katta kuchlarga bardosh bera oladi va eroziyaga chidamli

bo'ladi. Past kuchlanishga mo'ljallangan elektr apparatlarida kumush va kadmiy oksid ($\text{SdO} \approx 15\%$) kukunlari asosidagi metallokeramik materialdan tayyorlangan kontaktlar keng ko'lamda ishlatiladi. Ularda metallokeramik buyumlarga xos barcha xususiyatlar bo'ladi. Bundan tashqari, ular tropik iqlim sharoitida ishonchli ishlashi mumkin.

Juda aniq, yoini uzuvchi kontaktlar sifatida kumush, volfram (40—50 %) va nikel (2—3 %) kukunlaridan tayyorlanadigan metallokeramik buyumlar ishlatiladi. Bunday metallokeramik buyumlar plastik bo'ladi va ularga istalgancha mexanikaviy ishlov berish mumkin.

Mis bilan grafit kukunlaridan tayyorlanadigan metallokeramik kontaktlar katta toklar (30000—100000 A) uzilganda payvandlanib qolmasligi bilan farq qiladi. Bunga sabab mis va grafit (3—5 %) kukunlari asosida olingan metallokeramik materialning tarkibi va strukturasigina emas, balki materialda 10—15 % g'ovaklarning ham borligidir. Metallokeramik buyumlar ishlab chiqarishda ulardagi g'ovaklar miqdorini keng ko'lamda o'zgartirish mumkin. Kichikroq toklarga mo'ljallangan metallokeramik kontaktlarda g'ovaklik 2—5 %dan ortmasligi lozim. Bunga erishish uchun metallokeramik buyumlar qaytadan presslanadi va so'ngra qizdirib ishlov beriladi—yumshatiladi.

3.5. Elektr-ko'mir buyumlar

Elektr-ko'mir buyumlar jumlasiga elektr mashinalari uchun cho'tkalar, kontakt detallari, elektr-yoritish ko'mirlari va boshqalar kiradi.

Elektr-ko'mir buyumlar uglerodli materiallar: grafit, koks, qurum, antrasit aralashmasidan kukun texnologiyasi metodlari bilan tayyorlanadi. Ba'zi elektr-ko'mir buyumlarning boshlang'ich tarkibiga metall kukunlar (mis, qo'rg'oshin, qalay va boshqa metallarning kukunlari) ham qo'shiladi.

Buyumlar ishlab chiqarishda bog'lovchi moddalar—tosh-ko'mir smolasi va sintetik smolalar: bakelit, kremniyorganik va boshqa smolalar ham ishlatiladi. Grafit va qurumdan boshqa barcha uglerodli materiallar ulardan uchuvchan moddalarni chiqarib yuborish aa elektr-ko'mir buyumlarning hajmiy qisqarishini kamaytirish uchun 1200—1300°C temperaturada qizdiriladi. Qizdirilgan uglerodli materiallar maydalagichlarda kukun holiga kelguncha maydalanadi. Muayyan nisbatlarda olingan boshlang'ich kukunsimon materiallar (uglerodli va metall materiallar) bir-biri bilan yaxshilab aralashtiriladi. So'ngra aralashmaga bog'lovchi moddalar (smola, qatron) qo'shiladi, ularni 110—230°C da maxsus qorqichlar orqali o'tkazib, kukunsimon materiallar bilan qorishtiriladi.

Qorishtirilgandan keyin olingan boshlang'ich elektr-ko'mir massa quritiladi, so'ngra maydalanadi va elakdan o'tkaziladi. Buning natijasida presslanadigan kukun (press-kukun) olinadi. Undan po'lat press-qoliplarda presslash yo'li bilan turli xil zlekt-r-ko'mir buyumlar va bloklar tayyorlanadi; tayyorlangan narsalardan esa arralash va silliqdash yo'li bilan elektr cho'tkalar va boshqa buyumlar olinadi. Elektr-ko'mir buyumlar xona temperaturasida yoki 180—210°C da (qanday bog'lovchi ishlatilganiga qarab) presslanadi. Yuqori temperaturalarda yumshaydigan yoki polimerlanadigan bog'lovchi ishlatilganda elektr-ko'mir buyumlar yuqori temperaturalarda presslanadi. Elektr-ko'mir buyumlar 100 dan 300 MPa gacha bosimda presslanadi. Uzunligi katta bo'lgan buyumlar (elektr-yoritgich ko'mirlar va boshqalar) qizdirilgan boshlang'ich plastik massani vintsimon pressning po'lat mundahtugi orqali siqib chiqarish usuli bilan tayyorlanadi. So'ngra olingan elektr-ko'mir buyumlarga yoki ularning bloklarga yuqori temperaturada ishlov beriladi, ya'ni maxsus pechlarda xona temperaturasi bilan 1200—1300°C oralig'ida pishiriladi. Pishirish jarayonida moddalar qovushadi—boshlang'ich materiallarning zarrachalari o'zaro birikadi va ular bog'lovchi organik moddalardan hosil bo'lgan koks bilan sementitlanadi.

Pishirish natijasida elektr-ko'mir buyumlar mexanikaviy mustahkam bo'lib qoladi va ularga mexanikaviy ishlov berish mumkin bo'ladi. Bunda ularning solishtirma elektr qarshiligi kamayadi. Tarkibida qurum, koks va boshqa grafitmas komponentlar bor elektr-ko'mir buyumlarga pishirilgandan keyin yana termik ishlov beriladi (2400—2800°C da), bu protsess grafitlash deyiladi. Bunda buyumlardagi grafitmas komponentlar grafitga aylanadi, aralashmalarining ko'pchiligi esa bug'lanib ketadi. Grafitlash natijasida elektr cho'tkalar (EG gruppasidagi) qisman yumshoq bo'lib qoladi, ishqalanish koeffitsiyenti kamayadi va ularning solishtirma elektr qarshiligi keskin pasayadi.

Grafitlangandan va mexanikaviy ishlov berilgandan (qirqish, silliqdash) keyin elektr-ko'mir buyumlar anchagina g'ovak (30 %gacha) bo'lib qoladi. Shu sababli ularga loklar va mumsimon moddalar, ba'zi hollarda esa suyuqlatirilgan metallar (qalay, qo'rg'oshin va boshqalar) shimdiriladi. Elektr-ko'mir buyumlarga moddalar 80—200°C va undan yuqori temperaturalarda, ya'ni shimdiriladigan modda suyuq holatda bo'ladigan temperaturalarda shimdiriladi. Elektr-ko'mir buyumlarga moddalar shimdirishdan maqsad ulardagi g'ovaklikni yo'qotish, gigroskopikligini kamaytirishdan, ba'zan esa ularga moylovchi moddalar (mumsimon) kiritishdan iborat. Elektr-ko'mir buyumlarga metallar shimdirish ularning mexanikaviy mustahkamligini keskin ko'paytiradi va o'tkazuvchanligini oshiradi.

Elektr-ko'mir buyumlar (elektr cho'tka va boshqalar)ga uzil-kesil shakl berish va sirtini tozalash uchun ularga mexanikaviy ishlov beriladi. Elektr cho'tkalar va boshqa buyumlarning zagotovkalari (bloklari) maxsus stanoklarda frez yoki yupqa karborund charxlar yordamida mayda qismlarga kesiladi. So'ngra buyumlarda egiluvchan biriktirish simlari uchun teshiklar ochiladi.

Mexanikaviy ishlov berilgandan keyin elektr cho'tkalar va yoritish ko'mirlarining ba'zi tiplari mis bilan qoplanadi. Buning uchun ular sirtining bir qismi elektr cho'tka bilan elektr mashinaning cho'tka tutqichi orasida yaxshi elektr kontakt vujudga keltirish maqsadida yupqa mis qatlami bilan qoplanadi. Buyumlarga mis galvanika usulida qoplanadi. Buyumlarda ham bo'lgan mis qatlamining qalinligi 10—15 mkm bo'ladi. Egiluvchan (ko'p tolali) simlar elektr cho'tkaga razvalsovka, kavsharlash yoki presslash usulida mahkamlanadi. Tayyor elektr cho'tkalarining o'lchamlari, qattiqligi, mexanikaviy mustahkamligi, solishtirma elektr qarshiligi, cho'tka bilan kollektor orasida kuchlanishning pasayishi, ishqalanish ko'effitsiyenti, tok keladigan sim bilan elektr cho'tka orasidagi o'tuvchi qarshilik va boshqa xarakteristikalar tekshirib ko'riladi.

Elektr-ko'mir buyumlar orasida elektr mashinalar uchun ishlatiladigan cho'tkalar va kontakt detallar eng ko'p tarqalgan. Cho'tkalarining quyidagi turlari bor: grafit, ko'mir-grafit, metall-grafit va elektr-grafitlangan cho'tkalar.

Grafit cho'tkalar tabiiy grafitdan tayyorlanadi. Ular yumshoqligi bilan ajralib turadi, ishlaganida shovqin chiqarmaydi va 25 dan 70 m/sek gacha aylanma tezliklarda ishlatiladi. Ularning solishgirma elektr qarshiligi 10—45 $\text{Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$.

Ko'mir-grafit cho'tkalar grafit, qurum, koks va bog'lovchn smolalardan tayyorlanadi. Bu cho'tkalar nihoyatda qattiq mexanikaviy mustahkam va abraziv bo'ladi. Ular elektr mashinalarning kollektorlarida va halqalaridagi oksid pardalarni tozalashi mumkin. Cho'tkalar 15 dan 25 m/sek gacha aylanma tezliklarda ishlatiladi. Ularning solishtirma qarshiligi 40—60 $\text{Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$.

Metall-grafit cho'tkalar grafit bilan mis kukunlaridan tayyorlanadi, ba'zilariga esa qalay va kumush kukunlari ham qo'shiladi. Bu cho'tkalarining solishtirma elektr qarshiligi kichik bo'ladi: 0,03—0,30 $\text{Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$; tarkibida mis kam bo'lgan cho'tkalarining solishtirma qarshiligi 5—12 $\text{Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$. Bu cho'tkalar 20—35 m/sek aylanma tezliklarda ishlatiladi.

Elektr-grafitlangan cho'tkalar grafit, koks, qurum va bog'lovchi smolalardan tayyorlanadi. Presslangandan va pechlarda pishirilgandan keyin cho'tkalar grafitlash uchun 2500°C li elektr pechlarga kiritiladi. Bunda

cho'tkalarning tarkibi grafitga boyiydi, natijada, cho'tkalarning mexanikaviy mustahkamligi ortadi va ulardan $E_0=90$ m/sek ga teng katta aylanma tezliklarda foydalanish imkoniyati tug'iladi. Kommutatsiya sharoitlari og'ir bo'lgan elektr mashinalar uchun ishlatiladi.

Elektr-ko'mir elektrodlar elektr yoyga bardoshligi bilan ajralib turadi, ular juda sekin oksidlanadi, yonmaydi va 3800°C gacha suyuqlanmaydi. Katta quvvatdali elektr agregatlarida keng ko'lamda ishlatiladi.

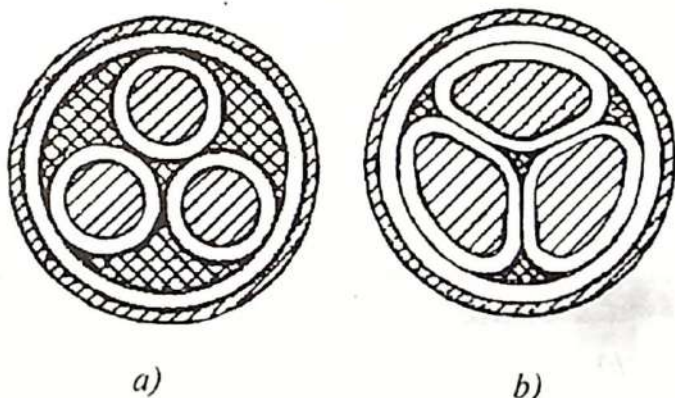
Elektrovozlar, trolleybuslar va tok oladigan boshqa qurilmalar uchun kontakt detallar elektr-ko'mir va mis-grafit massalardan tayyorlanadi, tayyor bunday buyumlarning solishtirma qarshiligi juda kam, $0,02-0,05$ $\text{Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ga teng.

IV bob. KABEL MAHSULOTLARI. **CHULG'AM SIMLARI. MONTAJ UCHUN SIMLAR VA KABELLAR**

4.1. Kabel mahsulotlari

Bir yoki bir nechta izolatsiyalangan va odatda, metall yoki nometall qobiqli hamda bu qobiq ustidan ishlatish shart sharoitiga qarab, himoya qobig'i o'ralgan simga kabel deyiladi.

Vazifasiga ko'ra kabellar bir necha xillarga bo'linadi. Shulardan biri kuch kabellari. Ular o'z simlaridan elektr energiyasini o'tkazib, iste'molchining energiyaga bo'lgan ehtiyojini qondirishga xizmat qiladi. Ko'ndalang kesimi katta. Izolatsiyasi murakkab. Nazorat kabellarining vazifasi—turli qurilmalarni boshqaruv va nazorat toklarini o'tkazish uchun mo'ljallangan. Ko'ndalang kesimi, odatda, 1,0; 1,5; 2,0 mm². Izolatsiyasi sodda va arzon. Konstruksiyasi yaxlit tolalar, har bir tola izolatsiyasi va umumiy izolatsiyadan tashkil topgan.



26-rasm. Uch tolali kuch kabelining ko'ndalang kesimi:
(a) doira yuzali tolalar; (b) sektor yuzali tolalar.



27-rasm. Bronya qatlami bilan
himoyalangan yuqori kuchlanishli kabel.

Quyidagi suratlarda bu kabelning tuzilishlari keltirilgan. Yuqori kuchlanishli kabellarning tuzilishi murakkab. Ularning narxi ham ancha qimmat. Chunki izolatsiyasi o'ta puxta, katta kuchlanishlarga chidamli bo'lishi kerak. Kabel izolatsiyasi nafaqat ishchi kuchlanish, balki kommutatsiya va atmosfera o'ta kuchlanishlariga bardosh bera olishi talab qilinadi. Masalan, 6 kV ga mo'ljallangan kabel ishga tushirilishidan oldin u 36 kV kuchlanish ta'sirida sinovdan o'tkaziladi (26-rasm).

27-rasmda kabel tuzilishini qarasak, u tolalardan tashqari tola ustidagi izolatsiya, (fazaviy izolatsiya), fazalar orasini to'ldiruvchi izolatsion material, ularning ustidan himoya vazifasini bajaruvchi aluminiy yoki

Radiochastotali kabellar. Ularning tarkibi shundayki, asosiy, signal tashuvchi tolaning atrofida hajmli qatlam-qatlam yoki yaxlit izolatsiya, uning atrofida esa ekranlovchi o'tkazuvchan qobiq, ekraning ustidan yana bir qavat izolatsiya joylashgan bo'ladi.

Radio chastotali kabellar bir tolali, ikki tolali va ko'p tolali bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, harakatlanuvchi obyektlarni (kranlar, elektr qurilmalar) ta'minlash uchun yumshoq tolali kabellar ham keng tarqalgan.



a)

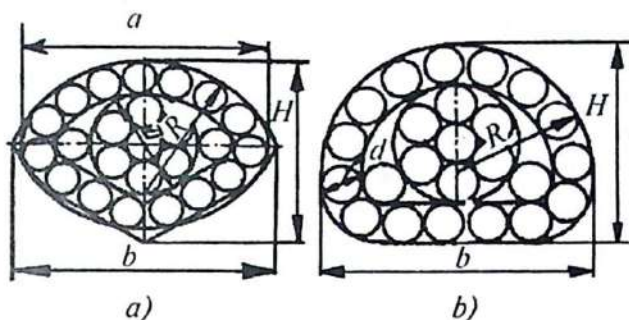


b)



d)

28-rasm. Yaxlit polietilen izolatsiyali yuqori chastotali koaksial kabellar:
a—bir tolali; b—ko'p tolali; d—quvvatli.



29-rasm. Kuch kabellarining sektorli (a) va segmentli (b) tok o'tkazuvchi simlari konstruksiyalari.

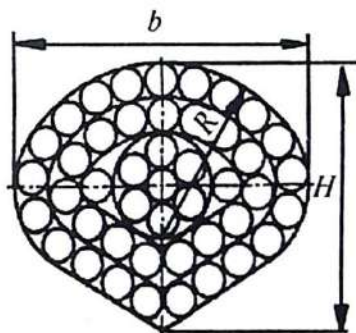
(70...120 mm² yuzalar uchun. Tolalar hali zichlantirilmagan)

qo'rg'oshin qobiq va, nihoyat, ustki izolatsion qobiqlarni kuzatish mumkin.

Tola ustidagi izolatsiya sifatida yuqori (6–10 kV) kuchlanishli kabellarda, asosan, elektrotexnik kartondan yaratilgan qatlamlar ishlatiladi.

Ishlatish sharoitiga qarab, kabelning sirtqi izolatsiyasi ustidan po'lat bronya qatlami bajarilgan bo'lishi mumkin. Bu bronya yupqa qatlam lentalaridan yoki doira yuzali po'lat simlardan tuzilgan. Oxirgi kabelning konstruksiyasi 28-rasmda keltirilgan.

To'rt simli kabellar 1 kV uchun 10...185 mm² yuzali qilib bajariladi. To'rtinchi sim yerga ulash va nollash vazifasini bajaradi. Simlar orasi sulfatli qog'ozdan tayyorlangan jgutlar bilan to'ldiriladi. Kabelning yuzasini qiymatiga qarab, fazaning simi turlicha shakl va tuzilishga ega bo'ladi. Ulardan ba'zilar 29–30-rasmda keltirilgan.



30-rasm. Kuch kabellarining sektorli tok o'tkazuvchi simlari konstruksiyalari (150–240 mm² yuzalar uchun. Tolalar hali zichlantirilmagan).

Metall o'tkazgich materiallarining elektr o'tkazuvchanligi yuqori, yetarli darajada mexanik mustahkam va shuningdek, ingichka sim, tasma va folga shaklida olish uchun yetarlicha plastiklikka ega bo'lishi hamda havo tarkibidagi kislorodning oksidlash ta'siriga chidamli bo'lishi kerak.

Metall o'tkazgich materiallar polikristall tuzilishga ega bo'lgan moddalardan iborat, ya'ni ular ko'plab mayda kristallardan tashkil topgan. Metall o'tkazgich materiallarning ko'pchiligi yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ($\rho=0,0150\div0,0283$ mkOm·m) ega. Bular, odatda chulg'amlar va radiomontaj simlari va kabellarning simlari uchun ishlatiladigan sof metallardan iborat.

Shu bilan bir qatorda radioelektronikada elektr qarshiligi katta bo'lgan o'tkazgichlar—turli metallarning qotishmalari qo'llaniladi. Metall (rezistor) qotishmalarida $\rho=0,4\div2,0$ mkOm·m. Bu qotishmalar solishtirma qarshilik temperatura koeffitsiyenti (TKp) kichik bo'lgan metall materiallari guruhini tashkil etadi va kichik hajmda katta elektr qarshilikni hosil qilish jalb etiladigan rezistorlarda va boshqa radiokomponentlarda qo'llaniladi.

Metall o'tkazgichlarning elektr qarshiligi temperatura ko'tarilgan sari orta boradi. Bunga sabab shuki, temperatura ko'tarilishi bilan o'tkazgich ichidagi atomlarning issiqlik tebranishlari surati oshadi. Bunda o'tkazgichda ko'chayotgan elektronlar atomlar bilan tez-tez to'qnasha boshlaydi, shuningdek, ular issiqlikdan sochila boshlaydi.

O'tkazgich materiallarning yaroqliligini baholash uchun solishtirma elektr qarshilik va temperatura koeffitsiyentidan tashqari, ularning mexanik xarakteristikalarini ham bilish zarur.

O'tkazgichlarning mexanik mustahkamligini belgilovchi asosiy xarakteristika chuzilishidagi buzilish kuchlanishi (δ_b) bo'lsa, metall o'tkazgichlarning plastikligini belgilovchi xarakteristika—uning cho'zilishidagi nisbiy uzayishi (l) bo'ladi. Ravshanki, metallning plastikligi qancha yuqori bo'lsa, uning cho'zilishidagi nisbiy uzayishi shuncha katta bo'ladi.

Elastik deformatsiya metallning solishtirma elektr qarshiligini sezilarli o'zgartirilmaydi, plastik deformatsiya (prokat qilish, burash) esa uning solishtirma elektr qarshiligining ortishiga olib keladi. Deformatsiyalangan o'tkazgich metallning solishtirma qarshiligini dastlabki qiymatiga keltirish uchun uni rekristallash kerak. Plastik deformatsiyalangan metallni rekristallash jarayoni uni ma'lum temperaturada, kislorod, bermasdan ma'lum vaqt davomida ushlab turish (metallni yumshatish) yo'li bilan amalga oshiriladi. Masalan, mis sim uning diametri va tasma qalinligiga bog'liq ravishda $450-650^{\circ}\text{C}$ da yumshatiladi. Yumshatish jarayonida berilgan issiqlik energiyasi metall kristallarning o'sishiga va ularning dastlabki to'g'ri shakliga qaytishlariga sabab bo'ladi.

Metallda erigan aralashmalar uning solishtirma qarshiligini orttiradi, demak, uning elektr o'tkazuvchanligini kamaytiradi. Solishtirma qarshiligi

kichik bo'lgan o'tkazgichlarni hosil qilish uchun ularni oltingugurtdan, fosfordan, azotdan, kislorod va boshqa aralashmalardan yaxshilab tozalash lozim. Shuning uchun solishtirma qarshiligi kichik bo'lgan metall o'tkazgichlarda aralashmalar miqdori foizning yuzdan bir necha ulushi hisobida bo'ladi.

O'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligini oshirish uchun bir necha metall aralashmasidan foydalaniladi. Strukturasi tartibsiz bo'lgan qattiq eritmalaridan tashkil topgan qotishmalarining solishtirma qarshiligi yuqori va temperaturaviy solishtirma qarshilik koeffitsiyenti (TK_p) kichik qiymatga ega bo'lishi aniqlangan. Kristall panjarasida metall atomlari nomuntazam tartibda joylashgan qotishmalar tartibsiz strukturali qotishmalar deb ataladi. Plastikligi yuqori bo'lgan hamma metall o'tkazgichlardan 0,001 mm gacha diametrli simlar va 0,05–0,1 mm gacha qalinlikdagi o'tkazgich tasmalar olish mumkin.

Ko'pchilik sof metallar va qotishmalar temperaturasi 200°C gacha bo'lgan muhitlarda ishlatilishi mumkin. Bu temperaturalardan ortib ketsa, ularning sirtida g'ovak oksid plyonka paydo bo'ladi. Shu sababli havodagi kislorod metall ichiga kirib borib, uni oksidlaydi. Hozirgi zamon radioelektronikasi uchun 800–1000°C da ham kislorod ta'sirida oksidlanmaydigan metall o'tkazgichlar zarur.

Shu munosabat bilan solishtirma elektr qarshiligi katta bo'lgan qator issiqbardosh metall o'tkazgichlar materiallari ishlab chiqilgan.

4.5. Elektronika va elektrotexnikada qo'llaniladigan sof metallar va qotishmalar

Elektronika va elektrotexnikada sof o'tkazgich materiallar sifatida asosan mis, aluminiy, kumush va oltin, qotishmalardan—bronza, jez va kovar ishlatiladi.

Mis—asosiy o'tkazgich material bo'lib, plastikligi yuqori, yetarlicha mexanik mustahkamlikka va yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega. Elektr o'tkazuvchanligi jihatidan kumushdan keyin ikkinchi o'rinda turadi. Mis qizg'ish—zarg'aldoq rangda va suyuqlanish temperaturasi 1083°C. Misning temperaturaviy kengayish koeffitsiyenti $KTR=1,7 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

O'tkazgich sifatida ishlatiladigan mis elektrolitik vannada (o'zgarmas tok yordamida) quymani boshqa aralashmalardan tozalash usuli bilan olinadi. Mis o'tkazgich normal havo atmosferasi sharoitida korroziyaga chidamlidir. Havoda paydo bo'ladigan yupqa CuO qatlami o'tkazgichni korroziyadan saqlashga yordam beradi. Bu qatlam havodagi kislorodni misga o'tkazmay, ushlab qoladi.

Buyumlar (chulg'am simlari, radiomontaj simlari va kabellar) tayyorlash uchun MOO_k , MO_{ku} ; MO_k ; M_{Ik} (katod misi) va $MOOb$; MOB ; MIb (kislorodsiz mis) markalardagi sof mislar ishlatiladi. Mis tarkibi (kumush bilan) 99,99–99,90 %ni tashkil etadi. MOO_k va $MOOb$ markalilarda mis miqdori eng ko'p.

Metallarda aralashmalarning bo'lishi ularning elektr va mexanik xossalariga yomon ta'sir etadi. Shuning uchun sim tayyorlashda barcha aralashmalari 0,1 %dan ortiq bo'lmagan mis turlaridan foydalaniladi. Mis folgasi (bosma platalar uchun) va sirlangan chulg'am simlari tayyorlash uchun o'zining plastikligi va yuqori elektr o'tkazuvchanligi bilan ajralib turuvchi kislorodsiz mis markalaridan foydalaniladi.

O'tkazgichlar tayyorlash uchun yumshoq, kuydirilgan (MM markali) yoki kuydirilmagan (MT markali) qattiq holda cho'zilgan 0,01–10 mm diametrli simlar olinadi. Yumshoq misdan tayyorlangan o'tkazgichlarda ($20^{\circ}C$ da): zichlik 8900 kg/m^3 ; $\sigma_{buz}=200\text{--}280 \text{ MPa}$; $\epsilon_{buz}=6\text{--}35 \%$; $\rho=0,0172\text{--}0,1724 \text{ mK}\cdot\text{m}$; Qattiq mis uchun: zichlik 8960 kg/M^3 ; $\sigma_{buz}=380\text{--}450 \text{ MPa}$; $\epsilon_{buz}=0,6\text{--}2 \%$; $\rho=0,0178\text{--}0,180 \text{ mK}\cdot\text{m}$.

Kichik diametrli simning cho'zilishdagi buzilish kuchlanishi va solishtirma elektr qarshiligi katta diametrli simnikidan ko'proq. Juda kichik 0,01 mm diametrli yuqori temperaturalarda ishlatilish uchun mo'ljallangan simlarni ishlab chiqarishda yuqori darajada sofliги bilan ajralib turadigan (aralashmalarning umumiy tarkibi 0,01 %dan kam) kislorodsiz mis simlardan (M 006 markali) foydalaniladi.

Barcha markadagi mislar uchun solishtirma qarshilik temperatura koeffitsiyenti $TK_p=0,004 \text{ 1/}^{\circ}C$.

Bronza mis bilan qalay (kalayli bronza), mis bilan aluminiy (aluminiyli bronza), mis bilan berilliy (berilliyli bronza) va mis bilan qotishma hosil qiluvchi boshqa elementlarning qotishmalaridan iborat. Bronza markalari Br (bronza) harflari bilan boshlanadi, undan keyin esa mazkur markadagi bronza tarkibida qanday elementlar va qancha miqdorda kiritilganligini ko'rsatuvchi harflar va raqamlar yoziladi.

Bronza yaxshi kavsharlanadi va uni kesish hamda bosim ostida ishlov berish mumkin. Bronzadan yarim fabrikantlar—tasmalar, poloskalar, simlar, listlar va naychalar tayyorlanib, ulardan radiappaturalarda ishlatiladigan detallar va shtepselli ulagichlarning kontaktlari, tok o'tkazuvchi prujinalar, elastik kontaktlar ishlatiladi.

Berilliyli bronzadan yasalgan detallarga termik ishlov beriladi—bronza toblanadi (qizdiriladi va tez sovutiladi). Toblangan bronza plastik holga kelib, undan turli elastik elementlar tayyorlash imkoni bo'ladi. Berilliyli bronzadan yasalgan detallar mustahkam bo'lishi uchun yumshatiladi—

uni ma'lum temperaturagacha qizdirib, sekin-asta sovitaladi, alluminiyli va qalayli bronzadan esa xona temperaturasida plastik deformatsiyalanadi.

Bronza elektr o'tkazuvchanligi jihatidan misdan keyingi o'rinda turadi, biroq mexanik mustahkamligi, elastikligi, yedirilishga chidamliligi va korroziya bardoshligi bo'yicha undan ustundir 11-jadval.

Ba'zi bronza va jezlarning tarkibi va markalari

11-jadval

Markasi	Elementlar miqdori, %						
	Qalay	Fosfor	Berilliy	Aluminiy	Nikel	Mis	Rux
BrO10	10	—	—	—	—	qolgan	—
BrOF6, 5-0,15	6-7	0,15	—	—	—	-//-	—
BrA7	—	—	—	6-8	—	-//-	—
BrB2	—	—	2-2,2	—	0,2-0,5	-//-	—
L62	—	—	—	—	—	60-63	40-37
L80	—	—	—	—	—	79-81	21-19

Jez mis bilan rux (ruxning miqdori massa bo'yicha ko'pi bilan 45 %) qotishmasidan iborat. Plastikligi yuqori bo'lgan jez tarkibida 30 % va undan kam rux bo'ladi, jezning plastikligi yuqori bo'lganligi uchun undan issiq va sovuq holda prokat qilish va cho'zish usuli bilan listlar, chiviqlar, tasmalar va simlar tayyorlash mumkin. Jez listlardan chuqur shtampovka usuli bilan qopqoqchalar, har xil shaklli shaybalar va h.k. tayyorlash mumkin. Bundan tashqari jezdin elektroapparatlar uchun qisqichlar, krontaktlar va qotiruvchi detallar tayyorlanadi. Jez misdan arzon turadi, shuning uchun elektr o'tkazuvchanlik muhim bo'lmagan joylarda jezdin tayyorlangan detallardan tayyorlanadi. Jez misdan arzon turadi, shuning uchun elektr o'tkazuvchanlik muhim bo'lmagan joylarda jezdin tayyorlangan detallardan foydalanish iqtisodiy jihatdan qulaydir. Deformatsiyalangan jez nam havoda misga nisbatan korroziyaga beriluvchandir. Jez markalari L (latun) harfi bilan boshlanadi. Shu harfdan keyin miss va boshqa komponentlar miqdorini ko'rsatuvchi yozuvlar yoziladi.

12-jadvalda bronza, jez va misning asosiy xarakteristikalarini keltirilgan.

Kovar—nikel (massasi bo'yicha 28,7–29,2 %), kobalt (17,3–18 %) va temir (qolgan qismi)lar qotishmasi. Kovarning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, uning $KTR = (4,3 \div 5,4) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ 20–200°C temperatura oralig'ida shisha va keramika (chini) ning KTR iga yaqin bo'ladi. Uning bu xususiyati uni shisha va chinniga germetik kavsharlash imkonini beradi.

Bronza, jez va misning asosiy xarakteristikalar

12-jadval

Material	Ishlov turi	O'tkazuvchanligi %	Cho'zilishdagi buzilish kuchlanishi, MPa	Cho'zgandagi nisbiy uzayishi, %
O'tkazgich mis (99,95% mis)	Yumshoq Qattiq	100 88	200-250 360-420	40,3
Fosforli bronza (6-7% kalay, 0,15% fosfor)	Yumshoq Qattiq	15 10	400-450 950-1050	60 3
Berilliy bronza (2% berilliy, 0,5% nikel)	Yumshoq Qattiq	36 26	700-790 1600-1750	20 9
Jez	Yumshoq Qattiq	25 24	400 800	60 5

Kovarning zichligi 8350 kg/m^3 , suyuqlanish temperaturasi 1450°C , solishtirma elektr bilan yaxshi payvandlanadi, plastik material shu tufayli undan diametri 0,2–3 mm bo'lgan sim olish, qalinligi 0,1–2,5 mm va kengligi 70–250 mm bo'lgan tasma tayyorlash mumkin. U integral chimalar (IS) va yarim o'tkazgich asboblarning korpuslarini tayyorlashda qo'llaniladi. Korroziyaning oldini olish maqsadida shakldor buyumlarning kichik qismlari optimal temperaturada kuydirib yumshatiladi.

Aluminiy—misdan keyingi o'rinda turadigan o'tkazgich materialdir, chunki uning elektr o'tkazuvchanligi nisbatan yuqori va atmosfera havosida korroziya bardosh hisoblanadi. U yengil metallar qatoriga kiradi. Uning zichligi 2700 kg/m^3 , ya'ni u misdan 3,3 marta yengildir. Aluminiy suyuqlanish temperaturasi 658°C bo'lgan kumush rang oq metall—u o'zining yumshoqligi va nisbatan kichik mexanik cho'zilish mustahkamligi ($\delta=80\text{--}180 \text{ MPa}$) bilan farq qiladi. Bundan tashqari, aluminiyning KTR si misga nisbatan kattaroq $\text{KTR}=24 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$. Bu xususiyati aluminiyning kamchiligi hisoblanadi.

Aluminiy havoda aluminiy oksidining (Al_2O_3) yupqa pardasi bilan tezda qoplanib qoladi, bu parda havodagi kislorodning aluminiyga kirib kelishidan saqlaydi. Shu bilan birga bu qatlamning elektr qarshiligi juda katta bo'lib, aluminiy simlarning namdan himoyalalmagan ulanish joylarida o'tish qarshiligini oshirib yuboradi.

Aluminiy sim bilan boshqa turdagi metall o'tkazgichlarning ulanish joylarida namlik tufayli galvanik juftlar paydo bo'ladi. Bunda mahalliy galvanik toklar ta'sirida aluminiy sim yemiriladi. Galvanik juftlar hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik uchun ulanish joylariga namlik

o'tmaydigan qilib himoyalana (masalan, loklanadi). Alumiiniyning kimyoviy sofligi qancha yuqori bo'lsa, uning korroziyaga qarshiligi shuncha yuqori bo'ladi.

Sanoatda sofligi turli darajada bo'lgan o'n uch xil markada alumiiniy ishlab chiqaradi. Alohida soflikka ega bo'lgan alumiiniy markasi tarkibida aralashmalar (temir, kremniy, rux, titan va mis) 0,001–0,05 %dan ortmaydi. Alumiiniyning bu markalaridan elektrolitik kondensatorlarning elektrodleri, shuningdek alumiiniy folgasi ishlab chiqariladi. Alumiiniy simlari tarkibida 0,315–0,5 % aralashmalar bo'lgan alumiiniydan tayyorlanadi. Alumiiniy simlari 0,008–8 mm gacha diametrlarda va cho'zilish mustahkamligi bilan farqlanuvchi uch xil ko'rinishda: yumshoq (AM), o'rtacha qattiq (APT) va qattiq (AT) ishlab chiqariladi.

Yumshoq alumiiniydan tayyorlangan buyumlar uchun: $\sigma_r \approx 80 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 10\text{--}25\%$; $\rho = 0,028 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ o'rtacha qattiq alumiiniy uchun, $\sigma_r \approx 100 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 3\%$; $\rho = 0,0282 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$; qattiq alumiiniy uchun, $\sigma_r \approx 100\text{--}180 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 0,5\text{--}2\%$; $\rho = 0,283 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$. Alumiiniyning hamma markalari uchun TKs—solishtirma qarshilik temperatura koeffitsiyenti $0,00423 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ ga teng deb qabul qilinadi.

Alumiiniy simlarni boshqa o'tkazgichlar bilan issiq yoki sovuq payvandlash, shuningdek maxsus kavshar va fluslar yordamida kavsharlash mumkin. Sovuq payvand payvandlanuvchi sirtlar bir-biriga $\approx 1000 \text{ MPa}$ bosim ostida tegib turganda maxsus qurilmalar yordamida amalga oshiriladi. Alumiiniy listlari mikrochizmalar, shassilar, elektrodlar va boshqalarning ekranlari va g'iloflari uchun ishlatiladi.

Kumush xona temperaturasidagi havoda oksidlanmaydigan nodir metallar qatoriga kiradi. Kumush 200°C va undan yuqori temperaturada tez oksidlana boshlaydi. Kumush zar va $0,01 \text{ mm}$ gacha diametrli sim olishga imkon beruvchi yuqori plastikliги bilan va juda yuqori elektr o'tkazuvchanligi bilan ajralib turadi.

Kumushning asosiy xarakteristikalari: zichligi 10500 kg/m^3 ; suyuqlanish temperaturasi $960,5^\circ\text{C}$; yumshoq kumush $\sigma_r = 150\text{--}180 \text{ MPa}$; $\epsilon_{\text{huz}} = 45\text{--}50\%$; $\rho = 0,0150 \text{ mk Om}\cdot\text{m}$; qattiq kumush $\sigma_r = 200\text{--}300 \text{ MPa}$; $\epsilon_r = 4\text{--}6\%$; $\rho = 0,0158 \text{ mk Om}\cdot\text{m}$; $\text{TK}_r = 0,003691^\circ\text{C}$, $\text{KTR} = 19,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Kumushdan 250°C gacha temperaturalarda ishlatiladigan radiomontaj mis simlariga himoya qatlamlari qilinadi. Elektr o'tkazuvchanlik darajasini oshirish maqsadida to'lqin o'tkazgichlarning ichki sirtiga kumush yuritiladi, shuningdek REA larning tok o'tkazuvchi qismlarini kavsharlashda ishlatiladigan kavsharlar (PS_r , Yu, PS_r 50) tarkibiga ham kumush ko'shiladi.

Oltin kumushdan farqli o'laroq, yuqori temperaturalarda ham havoda oksidlanmaydi. Uning plastikliги juda yuqori bo'lib, undan $0,005 \text{ mm}$

gacha qalinlikdagi zarqog'oz va 0,01 mm gacha diametrli ingichka sim olish mumkin.

Oltinning asosiy xarakteristikalar: zichligi 1930 kg/m^3 ; suyuqlanish temperaturasi 1063°C ; $\sigma_r=140-160 \text{ MPa}$; $\varepsilon_r=40-55 \%$; $\rho=0,0224 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$; $\text{TK}_r=0,00381/^\circ\text{C}$; $\text{KTR}=14,2\cdot 10^6 \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Oltin mikrochimalarda kichik toklarni kommutatsiyalashda yupqa plyonkasimon kontakt qoplari uchun ishlatiladi, shuningdek to'liqin o'tkazgichlar va UYuCh rezonatorlarning ichki sirtlarini qoplashda qo'llaniladi.

Xrom kumushsimon kulrang metall, u havoda xona temperaturasi sharoitida juda sekin oksidlanadi. Qanday usulda olinganligiga qarab xrom ikki xil kristall tuzilishda bo'ladi: hajmi markazlashgan kub yoki zich geksagonal ko'rinishda.

Xrom qiyin suyuqlanadigan metallar guruhiga taalluqlidir. Uning suyuqlanish temperaturasi tuzilishi va tarkibidagi aralashmalar miqdoriga bog'liq ravishda $1800-1903^\circ\text{C}$ oralig'ida bo'ladi. Xrom vakuumda bundan pastroq temperaturada (1200°C) bug'lanadi. Uning zichligi 7180 kg/m^3 .

Xrom shishaga, sitallga va chinini (keramika) ga yaxshi adgeziyalanadigan metall bo'lgani uchun undan yupqa plyonkali mikroelektron chimalarda to'shama qatlam sifatida keng foydalaniladi. Xrom qatlamiga vakuumda, elektr o'tkazuvchanligi yuqori, ammo mikrochimalarning to'shama dielektriklarga yaxshi adgeziyalanadigan metall (kumush, oltin, mis va boshqa) changlatiladi.

Bundan tashqari, xrom yupqa plyonkasimon rezistorlar olish uchun keng qo'llaniladi, chunki uning solishtirma elektr qarshiligi ancha yuqori $\rho=0,25-0,30 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ (monolit metall).

V bob. YARIM O'TKAZGICH MATERIALLAR

5.1. Asosiy xossalari

Elektr o'tkazuvchanligi jihatidan yarim o'tkazgichlar metall o'tkazgichlar bilan dielektriklar o'rtasidagi oraliq o'rinni egallaydi. Masalan, o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi 10^{-6} — 10^{-4} Om·sm, yarim o'tkazgichlarniki 10^{-4} — 10^{-9} Om·sm, dielektriklarniki esa 10^{-10} — 10^{-20} Om·sm ga teng. Barcha metall o'tkazgichlarda temperatura ko'tarilishi bilan elektr qarshilik ortadi, yarim o'tkazgichlar va dielektriklarda esa kamayadi.

O'tkazgichlarda juda ko'p miqdorda erkin elektronlar bo'lib, ularning bir tomonga yo'nalgan harakati o'tkazuvchanlik tokini tashkil etadi, yarim o'tkazgichlarni faqat Kyuri nuqtasiga qadar saqlab turadi. Tarkibi jihatdan turlicha bo'lgan ferritlarda Kyuri temperaturasi keng chegarada: 45 dan 950°C gacha o'zgaradi. Kyuri temperaturasi—bu magnit materiallar o'zining magnitaviy xossalarini saqlab qoladigan chegaraviy temperatura. Doimiy magnitlar tayyorlash uchun magnit qattiq ferritlardan foydalaniladi, ulardan eng ko'p ishlatiladigani bariy ferritlaridir $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Magnit yumshoq ferritlardan farq qilib, bariy ferritlar kubsimon emas, balki geksagonal kristall strukturali bo'ladi. Geksagonal kristall strukturada koersitiv kuch kattaligi sababli bariy ferritlar magnit qattiq bo'ladi. Bariy ferritlar strukturalari jihatidan polli kristall materiallar bo'lib, juda ko'p kristall zarrachalardan tarkib topgan. Bunda kristall zarrachalar ixtiyoriy oriyentatsiyalangan bo'ladi, bu esa ferritning xossalari barcha yo'nalishlarda bir xil bo'lishiga olib keladi. Bunday ferritlar izotrop (BI markali) bo'ladi.

Agar magnitlarni presslash jarayonida kukunsimon massaga kuchlanganligi katta ($N \approx 800$ A/m) bo'lgan tashqi magnitaviy maydon ta'sir ettirilsa, kristall zarrachalar bir yo'nalishda oriyentatsiyalanadi. Bunday tayyorlangan bariyli magnitlar anizotrop (BA markali) bo'ladi. Pechlarda pishirilgan va magnitlangan tayyor holdagi bu magnitlar magnitaviy xarakteristikalarining darajasi ancha yuqori bo'ladi (13-jadval). Jadvaldan ko'rinib turibdiki, bariyli, ferritlardan tayyorlangan magnitlarning solishtirma qarshiligi katta bo'ladi, bu esa ularni yuqori chastotalar sohasida

ishlatishga imkon beradi. Yaxshiroq foydalanish uchun bariyli magnitlar uzunligi kesimidan kichik bo'ladigan shaklda tayyorlanadi.

Bariyli ferritlar xarakteristikalarining barqarorligi bilan ajralib turadi, lekin temperaturaning keskin o'zgarishlariga sezgir bo'ladi. Ular oson topiladigan kukunsimon materiallardan (temir Sh)-oksid Fe_2O_3 va bariy karbonat BaSO_4 dan) keramika texnologiyasi metodlari bilan tayyorlanadi. Bariyli ferritlardan yasalgan magnitlar temir-nikel aluminiy qotishmalaridan va boshqa metall materiallardan yasalgan magnitlarga qaraganda ancha arzon bo'ladi.

Mo'rtligi va ularga faqat shlifovka yo'li bilangina ishlov berish mumkinligi barcha ferritlarning kamchiligidir. Ferritlar magnitli yarim o'tkazgichlar hisoblanadi, binobarin, temperatura ko'tarilishi bilan ularning solishtirma qarshiligi kamayadi, bu esa uyurma toklarga bo'lgan isroflarni oshiradi.

Bariyli ferritlarning asosiy xarakteristikalari

13-jadval

Ferritning belgisi	Zichligi, g/sm ³	Koersitiv kuch, A/m	Qoldiq induksiya, T	Solishtirma elektr qarshiligi, Om.m	Kyuri temperaturasi °C
1B11	4,5	$(128-144) \cdot 10^3$	0,2-0,22	10^3	450
2BA1	5,0	$(185-232) \cdot 10^3$	0,3-0,35	10^3	450

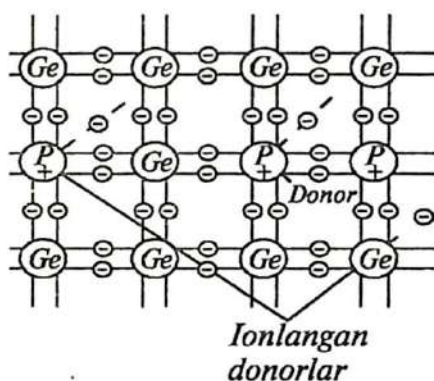
Yarim o'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi jihatidan metall o'tkazgichlar bilan dielektriklar orasidagi oraliq o'rinda turadi. Masalan, metall o'tkazgichlarning solishtirma o'tkazuvchanligi 10^6-10^8 sm/m bo'lsa, yarim o'tkazgichlarniki $10^{-8}-10^6$ sm/m, dielektrikniki esa $10^{-18}-10^{-8}$ sm/m ni tashkil etadi. Bundan tashqari, hamma metall o'tkazgichlar temperatura ortishi bilan o'zining o'tkazuvchanligini kamaytiradi, dielektriklar esa orttiradi.

O'tkazgichlar tarkibi juda ko'p miqdorda erkin elektronlar mavjud, sof yarim o'tkazgichlarda esa bunday elektronlar ko'p emas. Bunga sabab shuki, yarim o'tkazgichlardagi valent elektronlar o'z atomlari bilan bog'langan, ya'ni erkin emas. Yarim o'tkazgichlarning yana bir xususiyati—ulardan o'tuvchi tok miqdori tashqi ta'sirlar: qizish, nurlanish va aralashmalar qo'shilishi ta'sirida katta oraliqda o'zgarishi va hosil bo'lishi mumkin. Bu yarim o'tkazgichdagi valent elektronlar energiyasini ko'paytiradi, elektronlarni o'z atomlarida ajralishlariga imkon beradi va qo'yilgan tashqi kuchlanish ta'sirida yo'nalishli ko'chishga olib keladi, ya'ni ular tok tashuvchi bo'lib qolishi mumkin.

Yarim o'tkazgich temperaturasi qancha yuqori yoki unga tushayotgan nurlanish qancha kuchli bo'lsa, unda erkin elektronlar shuncha ko'p, demak, undan o'tuvchi tok shuncha ko'p bo'ladi. Natijada, yarim o'tkazgichda elektron o'tkazuvchanlik yoki n tip elektr o'tkazuvchanlik paydo bo'ladi. Bunda ozod bo'lgan elektronlar yarim o'tkazgichning o'z atomlariga tegishli, shu sababdan bunday elektr o'tkazuvchanlik xususiy o'tkazuvchanlik deb ataladi.

Elektronini yo'qotgan yarim o'tkazgich atomlari musbat zaryadlangan ionlarga aylanadi, ular o'z o'rinlarida mahkam turaveradi va ko'cha olmaydi. Atomning elektron tashlab ketgan tashqi orbitasidagi joy teshik deb ataladi, unga qo'shni atomdan ajralib chiqqan boshqa elektron kelib o'tirishi mumkin. Elektronning bunday sakrab yurishi natijasida qo'shni atomda ham shunday teshik hosil bo'ladi, ya'ni u atom musbat zaryadlangan ionga aylanib qoladi.

Agar yarim o'tkazgichga elektr kuchlanishi qo'yilsa, elektronlar bir yo'nalishda bir atomdan boshqa atomga ko'cha boshlaydi, teshiklar esa unga qarama-qarshi yo'nalishda paydo bo'la boshlaydi. Teshiklarni elektronga teng miqdorda musbat zaryadlangan zarracha deb atom qabul qilingan. Teshiklarning elektronlar ko'chishiga qarama-qarshi yo'nalishda tuyilma ko'chishi tyokish toki deb ataladi. Yarim o'tkazgichning teshik toki bilan bog'liq bo'lgan elektr o'tkazuvchanligi teshikli o'tkazuvchanlik yoki R tip o'tkazuvchanlik deb ataladi.



33-rasm. Donor aralashmali kristall.

Shunday qilib, elektronlarning bir tomonga, teshiklarning qarama-qarshi tomonga ko'chishi yarim o'tkazgichning xususiy elektr o'tkazuvchanligi belgilaydi, chunki tok tashuvchilar (elektronlar va teshiklar) yarim o'tkazgichning o'z atomlariga tegishlidir. Bu holda umumiy tok I_c va teshik tok I_t lar yig'indisidan tashkil topadi, ya'ni

$$I = I_c + I_t$$

Yarim o'tkazgich xususiy elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, elektronlar soni N_c va teshiklar soni N_t teng bo'ladi. Biroq $I_c > I_t$ chunki elektronlarning harakatchanligi teshiklarinikidan yuqori. Tok tashuvchining

harakatchanligi elektronning ko'chish tezligi v_e yoki teshikning ko'chish tezligi v_i ning yarim o'tkazgichdagi elektr maydon kuchlanganligi E ga nisbatidan iborat. U holda elektronning harakatchanligi $\mu_e = v_e/E$; teshikning harakatchanligi $\mu_i = v_i/E$. Shunday qilib, harakatchanlik elektron yoki teshik $E=1 \text{ V/sm}$ da 1 s vaqt ichida qancha yo'l o'tishini ko'rsatadi. Bayon qilinganlarni nazarda tutib elektron va teshik toklari uchun ushbu ifodalarni yozish mumkin:

$$I_e = N_e e v_e = N_e e \mu_e E;$$

$$I_i = N_i e v_i = N_i e \mu_i E;$$

bu yerda e —elektron yoki teshikning zaryadi; E —elektr maydon kuchlanganligi. Yarim o'tkazgichdan o'tadigan umumiy tok:

$$I = I_e + I_i \text{ yoki } I = N_e e v_e + N_i e v_i = N_e e \mu_e E + N_i e \mu_i E.$$

Yarim o'tkazgich xususiy elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lganda elektronlar soni teshiklar soniga teng bo'ladi, ya'ni $N_e = N_i = N$ u holda (8) ifodani yozish mumkin:

$$I = Ne(\mu_e + \mu_i)E$$

Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar yaratish uchun n_{ip} yoki r_{ip} elektr o'tkazuvchanlikli yarim o'tkazgich materiallar talab qilinadi. Shu sababli tarkibida 10^{-9} — 10^{-11} (massasi bo'yicha % hisobida) aralashma bo'lgan yarim o'tkazgich yaxshilab tozalanadi, unga tegishli legirlovchi aralashma kiritiladi.

Yarim o'tkazgichni elektron bilan ta'minlaydigan legirlovchi aralashmalar donor aralashmalar yoki qisqacha donorlar deb ataladi. Yarim o'tkazgich atomlariga nisbatan kichik valentli aralashma atomlari o'ziga elektronlarni qo'shib olish qobiliyatiga ega; bunday aralashmalar akseptor aralashmalar yoki qisqacha akseptorlar deb ataladi.

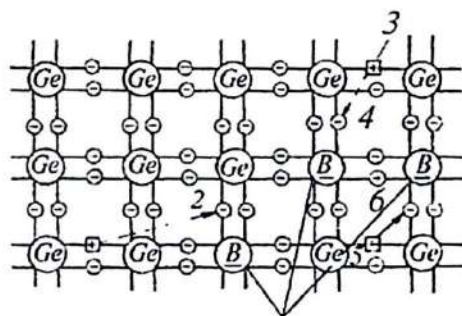
Elektron elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich olish uchun uning tarkibiga valentligi bu asosiy element atomlari valentligidan bitta ko'p bo'lgan modda atomlari kiritiladi. Masalan, to'rt valentli atomlardan tashkil topgan germaniy Ge elementiga besh valentli donor aralashma—surma Sb yoki fosfor R kiritiladi. Kiritilgan aralashmaning atomlaridagi to'rtta elektron asosiy yarim o'tkazgich atomlaridagi to'rtta elektron bilan to'rtta kovalent juft bog'lanishni yuzaga keltiradi, beshinchi elektron esa bunday bog'lanishsiz qoladi.

Demak, bu elektronni qo'yilgan kuchlanish ta'sirida erkin elektronga aylantirish oson, u yarim o'tkazgichda elektron tokini hosil qilishda ishtirok etadi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, asosiy tok tashuvchilar n_{tip} elektr o'tkazuvchanlikka sabab bo'luvchi elektronlardir. Uch elektron va unga mos teshik germaniy atomini ionlashtirish natijasida hosil bo'lgan. Bu tok tashuvchilar yarim o'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligiga sabab bo'ladi. Yarim o'tkazgichdagi umumiy tok elektron va teshik toklarning yig'indisiga teng, biroq elektron toki teshik tokidan bir necha karra ko'pdir.

Agar germaniy tarkibiga biror akseptor aralashma, masalan, bor V elementi atomlari kiritilsa, aralashmaning har bir atomi germaniyni mos atomlari bilan uchta kovalent bog'lanish hosil qiladi. Biroq borning hammasi bo'lib uchta valent elektroni mavjud bo'lgani sababli germaniyni faqat uchta qo'shni atomi bilan shunday bog'lanish o'rnatish mumkin. Germaniyni to'rtinchi atomi bilan bog'lanish o'rnatish uchun borning boshqa elektroni yo'q. Shunday qilib bir nechta germaniy atomida bittadan elektron kovalent bog'lanishsiz qoladi. Endi bu elektronlar o'z o'zini tashlab ketishi uchun va germaniy atomida teshiklar hosil qilishi uchun uncha katta bo'lmagan tashqi energetik ta'sir kifoya. Bor atomlari qamrab olgan 2, 4 va 6 bo'sh elektronlar yarim o'tkazgichda elektr tokini yuzaga keltirmaydi. Germaniy atomlarida hosil bo'lgan 1, 3 va 5 teshiklar esa qo'shni atomlardan elektronlar kelib o'tirishiga imkon beradi, u erda o'z navbatida yangi teshiklar hosil bo'ladi.

Shundan qilib, hosil bo'lgan musbat zaryadlangan teshik germaniyni bir atomidan ikkinchisiga, undan esa boshqasiga o'tib yuradi. Qo'yilgan tashqi kuchlanish bu harakatni tartibga solib turadi, ya'ni yarim o'tkazgichda aralashmada teshik toki paydo bo'ladi, natijada elektr o'tkazuvchanlik yuzaga keladi. R tip yarim o'tkazgichda, germaniy atomlaridan uncha ko'p bo'lmagan miqdorda erkin elektronlar va teshiklar jufti qolgan bo'ladi. Demak, xususiy elektr o'tkazuvchanlik ham mavjud.

Yarim o'tkazgichdagi umumiy tok avvalgidек электрон va teshik toklarning yig'indisiga teng, bunda teshik toki elektron tokidan ancha katta bo'ladi. 34-rasmda akseptor aralashmali yarim o'tkazgichda teshiklar va elektronlar chimasi tasvirlangan. Bu chimadan musbat zaryadli zarralar (teshiklar) elektronlarga nisbatan ancha ko'p ekani

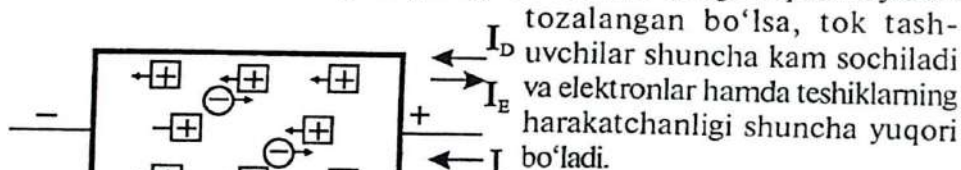


Ionlangan akseptorlar

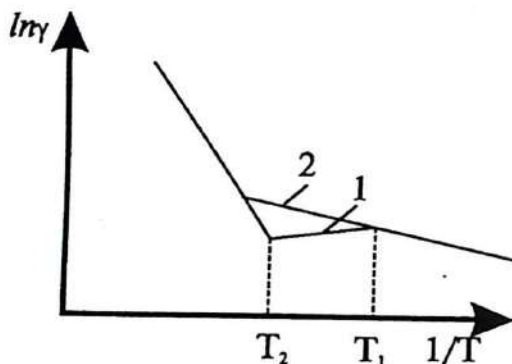
34-rasm. Akseptor aralashmali kristall.

ko'rinib turibdi. Qarab chiqilgan misollar shuni ko'rsatadiki, aralashmalar yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini oshirar ekan.

Yarim o'tkazgichlardagi elektronlar va teshiklar qo'yilgan kuchlanish ta'sirida ko'chayotib turli to'siqlarga duch keladi. Bunda ular o'zlarining bir qism energiyasini yo'qotadi va o'z yo'nalishidan og'adi, ya'ni tok tashuvchilar sochiladi. Bunga asosiy sabab aralashmada turli begona qo'shilma-kirishmalarning mavjudligidir. Yarim o'tkazgich qancha yaxshi



35-rasm. Akseptor yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning harakati.



36-rasm. Yarim o'tkazgich solishtirma qarshiligining temperaturaga bog'liqligi.

tozalangan bo'lsa, tok tashuvchilar shuncha kam sochiladi va elektronlar hamda teshiklarning harakatchanligi shuncha yuqori bo'ladi.

Temperatura ortgan sari barcha yarim o'tkazgichlarning tok o'tkazuvchanligi, yarim o'tkazgichga qancha ko'p donor yoki akseptor aralashma kiritilgan bo'lsa, shuncha tez o'sadi. Yarim o'tkazgichda T_1 temperaturagacha aralashma elektr o'tkazuvchanlik kuzatiladi. $T_1 - T_2$ temperaturalar oralig'ida yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanligi birmuncha kamayadi. Bunga sabab erkin elektronlar va teshiklarning ko'chishiga xalaqit beruvchi atomlarning jadal issiqlik tebranishlaridir. Temperatura bundan (T_2 dan) ortganda yarim o'tkazgichda xususiy elektr o'tkazuvchanlik ortib boradi va

yangi elektronlar hamda teshiklar paydo bo'lib, ularning yo'nalishli kuchini yarim o'tkazgich tokini ortishini yuzaga keltiradi. Shu munosabat bilan yarim o'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligi keskin ortib ketadi.

35-rasmdagi egri chiziq 2 $T_1 - T_2$ temperaturalar oralig'ida yuqori darajada legirlangan yarim o'tkazgich o'tkazgichining kamayishini ko'rsatmaydi. Bunga sabab aralashma elektronlar va teshiklar juda ko'p miqdorda yarim o'tkazgichga kirib keladi. Bu aralashma tok tashuvchilarning ishtiroki yarim o'tkazgich o'tkazuvchanligining bu temperaturalar oralig'ida barqaror bo'lishini ta'minlaydi.

Absolut nol (-273°C) temperaturada elektronlar ko'chmaydi, shuning uchun yarim o'tkazgich dielektrik bo'lib qoladi.

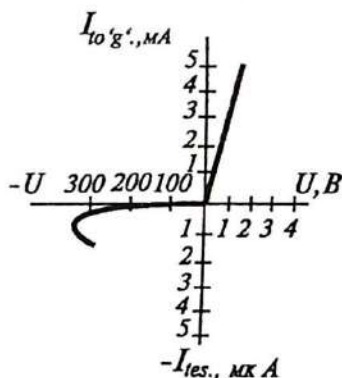
Tok kuchining qo'yilgan kuchlanishga nohiziqli bog'lanishi; yarim o'tkazgichlarning o'ziga xos xususiyati hisoblanadi, ya'ni tok I kuchlanish U ga nisbatan juda tez ortadi. I tok ortishi bilan yarim o'tkazgichning R elektr qarshiligi keskin kamayadi.

Kuchlanish $+U$ dan $-U$ ga o'zgarganida yarim o'tkazgichdagi tok teskari yo'nalishda o'tadi va shunday qonun bo'yicha o'zgarib boradi. Demak, yarim o'tkazgich simmetrik volt-ampere xarakteristikasiga ega.

Agar yarim o'tkazgich hajmining bir qismi elektronli elektr o'tkazuvchanlikka, hajmining ikkinchi qismi esa teshikli elektr o'tkazuvchandikka ega bo'lsa, u holda yarim o'tkazgich shu bo'laklarning chegarasi elektron teshikli o'tish ($p-n$ o'tish) dan iborat bo'lib u nosimmetrik volt-ampere xarakteristikasiga ega. Bu holat tok bir yo'nalishda o'tganda $p-n$ o'tishning elektr qarshiligi juda kichik bo'lib, tok teskari yo'nalishda o'tganda juda katta bo'ladi. Har xil turdagi elektr o'tkazuvchanli yarim o'tkazgich sistemasida turli yo'nalishda o'tayotgan tok turlicha bo'ladi. Bunda I_{tug} to'g'ri tok qo'yilgan kuchlanish ortishi bilan juda tez ortadi. Bu sistemaga U kuchlanish berilganda, dastlab shu sistema orqali I_{tes} teskari yo'nalishdagi tok amalga o'tmaydi. Teskari kuchlanish oshirilishi bilan oz miqdorda teskari tok paydo bo'ladi.

Shunday qilib, elektr o'tkazuvchanligi har xil bo'lgan yarim o'tkazgichning ikki sohadan iborat sistemasi teskari yo'nalishdagi tokni o'tkazmaydi. Yarim o'tkazgichlarning bu xossasidan yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlarda keng foydalaniladi. Shunday sistemaga juda katta teskari kuchlanish qo'yilganda, $p-n$ o'tish sohasida elektr teshilish (пробой) yuz berishi mumkin. Shu sistemaga o'zgaruvchan kuchlanishli ikkita yarim o'tkazgich ulanganda, $p-n$ o'tish unga o'zgaruvchan kuchlanishning bitta yarim to'liqini qo'yilgandagina tok o'tkazadi.

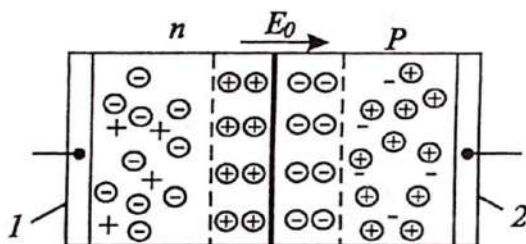
Yarim o'tkazgichlarning $p-n$ o'tish o'tish hosil qilish xususiyatini batafsilroq ko'rib chiqaylik. Ikkita yarim o'tkazgichdan iborat sistemaga tashqi kuchlanish qo'yilmaganda n turdagi yarim o'tkazgichda elektronlarning katta konsentratsiyasi, r turdagi yarim o'tkazgichlarda esa, teshiklarning katta konsentratsiyasi mavjud bo'ladi. Undan tashqari ikkala yarim o'tkazgichda oz miqdorda asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar



37-rasm. Yarim o'tkazgich $p-n$ sohsining volt-ampere xarakteristikasi.

bo'ladi: n -turdagi yarim o'tkazgichda oz miqdorda teshiklar, r -turdagi yarim o'tkazgichda esa, elektronlar bo'ladi.

Ikkita yarim o'tkazgichni, masalan, birini ikkinchisiga suyuqlantirib kiritib o'zaro zich biriktirilsa, n turdagi yarim o'tkazgichdagi elektronlar konsentratsiyalari juda kam bo'lgan r turdagi yarim o'tkazgichda diffuziyalanadi. Ayni vaqtda r yarim o'tkazgichdagi teshiklar



38-rasm. Yarim o'tkazgichga tashqi elektr maydoni berilganda zaryad tashuvchilarning holati.

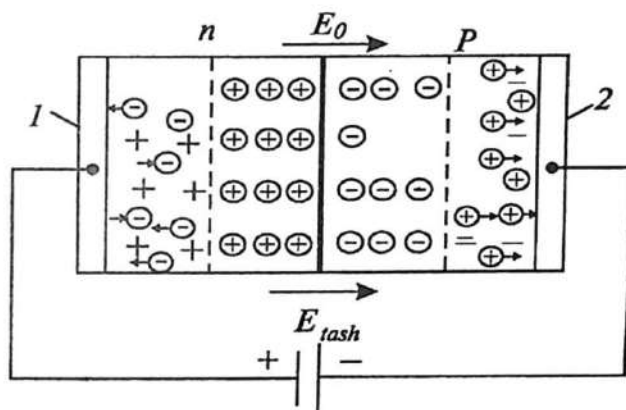
konsentratsiyalari juda oz bo'lgan n yarim o'tkazgichga o'ta boshlaydi (diffuziyalanadi). Teshiklar (38-rasm) va elektronlarning bu o'zaro diffuziyasi natijasida n yarim o'tkazgichning chegaraviy qatlamidagi elektronlar konsentratsiyasi kamayadi va u erda teshiklar paydo bo'ladi. Bunda r yarim o'tkazgichning

chegaraviy qatlamida teshiklar konsentratsiyasi kamayadi; bu qatlam elektronlar bilan to'ladir. Shunday qilib (1) va (2) elektrodlarga tashqi kuchlanish berilgunga qadar ikki yarim o'tkazgich chegarasida qo'sh elektr qatlami hosil bo'ladi. Natijada, bu yerda qo'sh elektr qatlamidagi manfiy zaryadlar tomoniga yo'nalgan E_0 kuchlanganlikni mahalliy (kontakt) elektr maydoni hosil bo'ladi.

Ikkita yarim o'tkazgichdan iborat sistemaga rasmda ko'rsatilgandek tashqi kuchlanish qo'yilganda, tashqi manbaning E_0 kuchlanganligi mavjud kontakt maydonning E_0 kuchlanganligiga teng bo'lsa, n yarim o'tkazgichdagi elektronlar va r yarim o'tkazgichdagi teshiklar (1) va (2) elektronlar tomon siljiydi. Natijada, $p-n$ o'tishdagi r yarim o'tkazgichning elektronlar sohasi va n yarim o'tkazgichning teshiklar sohasi kengayadi. Oqibatda $p-n$ o'tishning elektr qarshiligi juda ortib ketadi va tok o'tmay qoladi. Amalda esa, tasodifiy tok tashuvchilarning siljishi yuzaga keltirgan kichik tok o'tadi. U teskari tok (I_{tes}) deb ataladi.

E_0 kuchlanganlik E_0 ga qarshi yo'nalganda kontakt maydon sezilarli darajada susayadi, n -yarim o'tkazgichdagi elektronlar va p -yarim o'tkazgichdagi teshiklar $p-n$ o'tish sohasiga siljiy boshlaydi. Natijada, berkituvchi qatlam torayadi, uning elektr qarshiligi esa, keskin kamayadi. Bu holda $p-n$ o'tish tok o'tkazadi. Bu tok I_{tug} to'g'ri tok deyiladi, uning to'g'rilagichdagi yo'nalishini esa to'g'ri yoki o'tkazish yo'nalishi deyiladi.

To'g'ri tok teskari tokdan ko'p marta kattadir. Yuqorida aytilganidek, yarim o'tkazgichli volt-amper xarakteristikasi orqali baholanadi. Uning



39-rasm. Yarim o'tkazgichga tashqi elektr maydoni - (kuchlanish) berilganda zaryad tashuvchilarning harakti. Kuchlanish teskari yo'nalishda berilgan.

ko'rsatishicha, kichik kuchlanishda (2 V gacha) to'g'rilagich o'tkazadigan to'g'ri tok nisbatan katta qiymatlarga (4 mA dan yuqori) yetadi (40-rasm.).

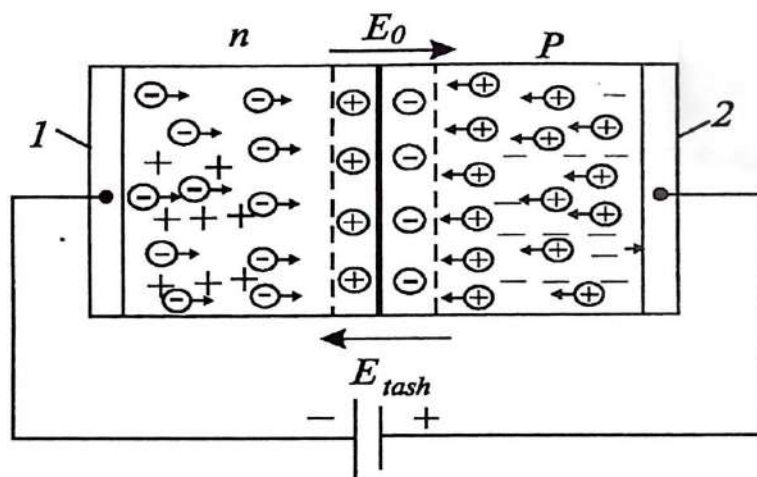
To'g'rilagichga batareyaning musbatini n -yarim o'tkazgichga, manfiysini esa p -yarim o'tkazgichga qilib teskari kuchlanish qo'yilganda, to'g'rilagich amalda tok o'tkazmaydi. Teskari kuchlanish 200 V dan ortishi bilan $p-n$ o'tish kichik teskari tok (mikroamperlar) o'tkaza boshlaydi. Agar teskari kuchlanishni ortтира boshlasak, bir oz vaqtdan so'ng teskari tok juda ham oshib ketadi va $p-n$ o'tishda teshilish bo'ladigan qiymatga erishishi mumkin.

Yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlarda $p-n$ o'tish turli elektr o'tkazuvchanlikni ikkita yarim o'tkazgich orasidagi qotishma kontakt ko'rinishida yoki yarim o'tkazgich plastinkasi va o'tkazgich orasidagi kontakt ko'rinishida bajariladi. Birinchi holda ikkita yarim o'tkazgichga qandaydir tegish (kontakt) yuzasi vujudga keladi (bunday to'g'rilagichlar tekisliksimon yarim o'tkazgichlar deyiladi). Ikkinchi holda o'lchami 2×2 mm bo'lgan yarim o'tkazgich (germaniy yoki kremniy) plastinkasi ingichka metall simning uchiga tutashadi (bunday to'g'rilagichlar nuqtaviy to'g'rilagichlar deyiladi). Nuqtaviy to'g'rilagichlarda $p-n$ o'tish kichik sig'imga ega bo'ladi va yuqori chastotalarda qo'llaniladi.

Biz yarim o'tkazgichlarning asosiy xossalarini ko'rib chiqdik. Endi ularning ba'zi bir o'ziga xos xususiyatlari bilan tanishamiz.

Yorug'lik ta'sirida ba'zi bir yarim o'tkazgichlar (masalan, selen) ning o'tkazuvchanligi keskin o'zgarishi mumkin. Bunga sabab shuki, ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'lik nurlanishi yarim o'tkazgich

elektronlariga, ular erkin bo'lib qolishlariga yetarli miqdorda energiya beradi. Natijada, yarim o'tkazgichning qarshiligi keskin kamayadi. Yarim o'tkazgichlarning bu xususiyatlaridan fotorezistorlar yaratishda foydalaniladi. Bu asboblarni nurlanish spektrining nafaqat ko'rinuvchi sohasiga, balki infraqizil nurlanishga nisbatan ham sezgirdir (40-rasm).



40-rasm. Yarim o'tkazgichga tashqi elektr maydoni (kuchlanish) berilganda zaryad tashuvchilarning harakti. Kuchlanish to'g'ri yo'nalishda berilgan.

Yarim o'tkazgich qisman yoritilganda uning yoritilgan va yoritilmagan qismlari orasida foto E.Yu.K. paydo bo'ladi. Bu hodisadan elektr energiyasi manbalari — fotoelementlar va Quyosh energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantira oluvchi Quyosh batareyalari yaratishda foydalaniladi.

Ba'zi bir yarim o'tkazgichlar (masalan, kremniy) ularga bo'lgan bosim ta'sirida o'zining elektr qarshiligini keskin o'zgartiradi (tenzorezistor effekti). Yarim o'tkazgichlarning bu hodisalaridan sezgir bosim o'lchagich—tenzodatchiklar tayyorlashda foydalaniladi.

Agar yarim o'tkazgichlarda turli temperaturali ikkita soha bo'lsa, erkin zaryadlar qizigan sohadan sovuq sohaga o'ta boshlaydi. Bunda, agar tok tashuvchilar elektronlardan iborat bo'lsa, ular sovuq sohaga o'tishlarida uni manfiy elektr bilan zaryadlaydilar. Yarim o'tkazgichning qizigan sohasi elektronlarning bir qismini yo'qotib, musbat zaryadlanadi. Natijada, yarim o'tkazgichning qizigan va sovuq sohalarida termo EYuK paydo bo'ladi. Termoelektr deb atalgan bu hodisa issiqlik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantira oladigan termoelementlar va termogeneratorlar yaratishda qo'llaniladi.

5.2. Yarim o'tkazgich materiallar

Elektronika, elektrotexnika va radioelektronikada asli noorganik va organik bo'lgan mikrokristall va polikristall tuzilishdagi ko'p sonli yarim o'tkazgich materiallardan asosan, germaniy, kremniy, selen, kremniy karbidi va galliy arsenidi qo'llaniladi. Bu materiallar yarim o'tkazgich asboblari va integral chimalar ishlab chiqarishda keng ishlatiladi.

Kremniy va germaniyalar olmosnikiga o'xshash tuzilishga ega bo'lganligi uchun olmossimon yarim o'tkazgich hisoblanadi.

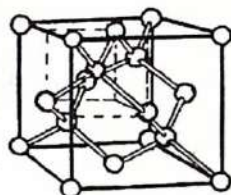
Bu kristall uchlarida va yoqlarining o'rtalarida germaniy yoki kremniyning atomlari joylashgan kubdan iborat. Bundan tashqari atomlar, shuningdek, katta kubning bo'lagi hisoblangan sakkizta kichik kubdan to'rttasi (oktaniy), ning markazidan ham o'rin olgan.

41-rasmni germaniy kub tuzilishining tekislikdagi tasviri ko'rsatilgan. Shu rasmlardan ko'rinib turibdiki, olmos turidagi tuzilishda atomlar (germaniy yoki kremniy)ning har biri o'zidan bir xil masofada joylashgan to'rtta huddi shunday atomlar bilan o'ralgan va atomlarning har biri qo'shni atomlar bilan kovalent bog'langan.

Germaniy—Ge D.I. Mendeleyev davriy sistemasidagi to'rtinchi guruh elementi. Uni olish uchun dastlabki xomashyo materiali bo'lib rux va sulfid rudalari, shuningdek, tarkibida germaniy bo'lgan ko'mir kukunlari xizmat qiladi.

Murakkab kimyoviy jarayonlar natijasida germaniyni metall quymasi olinadi, lekin hali uning tarkibida aralashma bo'lganligi va monokristall emasligi uchun uni yarim o'tkazgich tayyorlashda ishlatish mumkin emas. Bu quyma dastlab zona buyicha suyuqlantirish metodi bilan aralashmalardan tozalanadi. Tozalangan yarim o'tkazgich materialdagi aralashma miqdori germaniyda ko'pi bilan 10^{-9} (massasiga ko'ra %da) va kremniyda 10^{-11} (massasiga ko'ra %da) bo'lishi lozim.

Monokristall holidagi germaniy olish uchun u avval vakuumda yoki inert gaz atmosferasida suyultiriladi. So'ngra n yoki p turdagi elektr o'tkazuvchanlikli germaniy olish uchun tozalangan germaniy suyuqlanmasiga donor yoki akseptor aralashma qo'shiladi. Keyin suyuqlanma ichidan berilgan diametrdagi yaxlit silindr ko'rinishidagi germaniy monokristali ma'lum tezlik bilan chiqarib olinadi. Germaniy yarqiroq kumushsimon rangli bo'lib, zichligi 5320 kg/m^3 va suyuqlanish temperaturasi $937,2^\circ\text{C}$ ga teng. Tozalangan, legirlanmagan germaniy



41-rasm. Germaniyni kristall panjarasi.

quyidagi elektr xarakteristikasiga ega (20°C da): solishtirma elektr qarshiligi $\rho=0,60\div0,68\text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r=16,3$. Legirlangan n -turdagi elektr o'tkazuvchanlikli germaniy $\rho=0,0003\div0,45\text{ Om}\cdot\text{m}$, p -turdagi elektr o'tkazuvchanlikli germaniyni $\rho=0,004\div0,057\text{ Om}\cdot\text{m}$ (legirlash darajasiga qarab). Germaniyni barcha xillari yuqori qattiqlikka va mo'rtlikka ega.

Germaniy diodlar, fotoelementlar va boshqa yarim o'tkazgich asboblari tayyorlashda keng qo'llaniladi.

Kremniy (Si) ham D. I. Mendeleyev davriy sistemasining to'rtinchi guruhi elementidir. U tabiatda kremnezem (SiO_2) ko'rinishida keng tarqalgan. U kremniyni texnik turlarini olishda asosiy moddalardan biridir.

Kremniy quymasini zona bo'yicha suyuqlantirish metodi yordamida tozalash va undan so'ng legirlovchi aralashmalar kiritish natijasida n yoki p turdagi o'tkazuvchanlikli (kiritilgan legirlovchi aralashmaga qarab) kremniy monokristali olinadi. Kremniy namunalari po'lat rang bo'ladi. Kremniy ham germaniy kabi mo'rtidir. Tozalangan legirlanmagan kremniyni asosiy xarakteristikalar (20°C da): zichligi 2328 kg/m^3 ; suyuqlanish temperaturasi 1420°C ; $\rho=(2\div3)\cdot10\text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r=11,7$; Legirlangan n -turdagi elektr o'tkazuvchanlikli kremniyni $\rho=0,0001\div2,0\text{ Om}\cdot\text{m}$; p -turdagi elektr o'tkazuvchanlikli kremniyni $\rho=0,00014\div0,05\text{ Om}\cdot\text{m}$.

Kremniy germaniyga nisbatan ko'proq ishlatiladi, chunki kremniy asosidagi yarim o'tkazgichli asboblari ish temperaturasi chegarasi $130\text{--}200^{\circ}\text{C}$, germaniy asosidagi asboblarda esa u $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ atrofida. Kremniy yarim o'tkazgichli integral chimalarda asos sifatida ishlatiladi.

Selen—Se D.I.Mendeleyev davriy sistemasining oltinchi guruh elementi. Uni olishda boshlang'ich material sifatida misni elektrolitik tozalashdan hosil bo'lgan qoldiq xizmat qiladi. Qattiq selen amorf yoki kristall tuzilishga ega. Qora amorf selenni tozalangan suyuqlangan selendan uni xona temperaturasiigacha tez sovitish yo'li bilan olingan. U solishtirma qarshiligi $\rho=10^{11}\text{ Om}\cdot\text{m}$ bo'lgan dielektrikdir.

Kulrang kristall selen suyuqlangan amorf selenni suyuqlanish temperaturasi (220°C) dan xona temperaturasiigacha asta-sekin sovitish yo'li bilan olinadi. Kristall selen polikristall tuzilishiga ega bo'lgan p -turdagi aralashma yarim o'tkazgich hisoblanadi. Selen atomlarining zanjirlari uning kristallarining elementar yacheykasi bo'lgan olti burchakli prizmaning burchaklari bo'yicha joylashgan. Selenning asosiy xarakteristikalar (20°C da): zichligi 4800 kg/m^3 ; $\rho=(0,8\div5)\cdot10^3\text{ Om}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r=6,3$. Selen—selen to'g'rilagichlar, fotoelementlar va fotorezistorlar tayyorlashda ishlatiladi.

Kremniykarbidi (SiC) tok va kuchlanish orasida aniq ifodalangan chiziqli bo'lmagan bog'lanishla polikristall tuzilishga ega bo'lgan mo'rt materialdir. Kremniy karbidi kremniy va uglerodning kimyoviy birikishi natijasida hosil bo'ladi. Kremniy karbidini olishda boshlang'ich material sifatida toza kvars qum (SiO_2) va toshko'mir ishlatiladi. U yoki bu xildagi aralashma (shixta)ga fosfor, surma, vismut yoki kalsiy, magniy, aluminiy va b. kiritiladi. Kremniy karbidi hosil bo'lish reaksiyasi chekli temperaturada ($\sim 2000^\circ\text{C}$) da o'tkaziladi.

Fosfor, surma yoki vismut bilan legirlangan kremniy karbidi to'q yashil rangli bo'lib, n turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega, kalsiy, aluminiy yoki bor bilan legirlangani esa to'q binafsha rangli bo'lib, r turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega. Kremniy karbidining asosiy xarakteristikalar (20°C da): zichligi 3200 kg/m^3 ; $10^2 \div 10^5 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r = 6,5 \div 7,5$. Kremniy karbidining solishtirma qarshiligi ko'p darajada uning tarkibiga bog'liq. Kremniy karbidi aralashmali yarim o'tkazgich hisoblanadi, lekin 1400°C va undan yuqori temperaturada unda xususiy elektr o'tkazuvchanlik paydo bo'ladi. Kremniy karbidining suyuqlanish temperaturasi 2600°C .

Kremniy karbidining eng toza xili asosan chiziqli bo'lmagan simmetrik volt-ampere xarakteristikasiga ega va -50 dan $+80^\circ\text{C}$ gacha bo'lgan oraliqda ishlay oluvchi varistorlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Varistordan avtomatik boshqarish qurilmalarida foydalaniladi.

Polikristall kremniy karbidini inert gazda bevosita bug'ga aylantirish gazda bevosita bug'ga aylantiradi (haydash) usuli yordamida kimyoviy tozaligi bilan farq qiluvchi kremniy karbidining monokristalini olish mumkin. Ular 500°C gacha bo'lga ish temperaturasida ishlaydigan diodlar va tranzistorlar yasashda, shuningdek yorug'lik diodlari ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Galliy arsenidi—GaAs mishyak (margimush) bilan galliyning birikmasidan iborat bo'lib, monokristall yarim o'tkazgichdir.

Elektronlar va teshiklarning juda harakatchanligi galliy arsenidining o'ziga xos xususiyati hisoblanadi. Bu hol galliy arsenidi asosida yuqori chastotalar va haroratlar sohasida ishlay oluvchi asboblarni yaratishga imkon beradi. $p-n$ o'tishlar uchun $300-400^\circ\text{C}$, ya'ni germaniy va kremniy asosida asboblardagidan ancha yuqori bo'lga ish temperaturalarini belgilanishi mumkin.

Galliy arsenidining 20°C dagi asosiy xarakteristikalar: zichligi 5400 kg/m^3 ; $\rho = 10^2 \div 10^7 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$; $\epsilon_r = 11,2$. Galliy arsenidining suyuqlanish temperaturasi 1237°C .

Namlik va radiatsiya nurlanishi kabi tashqi ta'sirlar yarim o'tkazgichli asboblarning xarakteristikalarini juda yomonlashtiradi. Shuning uchun

tashqi ta'sirlardan himoya qilish uchun, ular germetik (metall, keramika yoki plastmassa) qobiqqa (korpus) solib qo'yiladi.

Amorf yarim o'tkazgichlar. Ilgari ko'rib o'tilgan kristall tuzilishdagi yarim o'tkazgich materiallar (germaniy, kremniy va b.) dan farqli o'laroq, amorf yarim o'tkazgichlar maxsus shishadan iborat. Shishasimon yarim o'tkazgichlar o'zlarida elektron elektr o'tkazuvchanlik borligi bilan izolatsion shishalardan farq qiladi. Amorf yarim o'tkazgichlar uchta asosiy guruhga bo'linadi: oksidli, elementli va xalkogenidli.

Barqaror elektron elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, eltgichlarining harakatchanligi, fotoo'tkazuvchanligi va radiatsion mustahkamligi kichik bo'lgan xalkogenid shishalarning amaliy ahamiyati kattaroq. Ular oltingugurt, tellur, surma, mishyak va boshqalar kabi ikki, uch va undan ko'p komponentlardan iborat bo'lishi mumkin. U yoki bu xususiyatini ta'minlash uchun xalkogenid shishalarning boshlang'ich tarkibiga oltin, kumush, mis va boshqalar kiritiladi.

Xalkogenid shishalarning solishtirma o'tkazuvchanligi $\gamma = 10^{-21} \div 10^{-11} \text{ Om}\cdot\text{m}$ oralig'ida bo'ladi. Xalkogenid shishalar o'tkazuvchanligining temperatura va chastotaga bog'liqligi huddi kristall yarim o'tkazgichlarniki kabidir.

Xalkogenid shishasimon yarim o'tkazgichlarni olish texnologiyasining soddaligi, ularning elektr xususiyatlarini boshqarishning yengilligi ularning REA da keng qo'llanilishini ta'minlaydi.

VI bob. MAGNIT MATERIALLAR

6.1. Materiallarning magnit xarakteristikalari

Tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlanadigan, ya'ni maxsus magnit xossalarga erishadigan materiallar magnit materiallar deyiladi. Ulardan eng asosiylari: temir, nikel, kobalt va sof temirdan tayyorlangan qotishmalar.

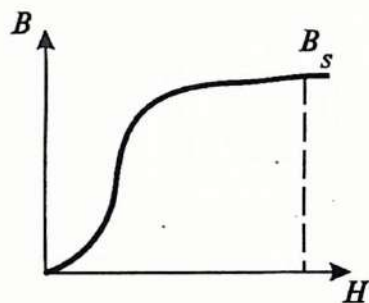
Magnit xossalari yaqqol namoyon bo'ladigan magnit materiallar ferromagnit materiallar yoki ferromagnetiklar deyiladi. Ferromagnit materialning tashqi magnit maydon ta'siridagi tabiati materialdagi magnit induksiya V ning magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq ravishda magnitlanishini xarakterlovchi grafikning boshlang'ich (42-rasm) qismi bo'yicha tavsiflanadi. Magnit materiallarning xossalari ularning magnit xarakteristikalari bo'yicha, baholanadi. Ulardan asosiylarini qarab chiqamiz.

Absolut magnit singdiruvchanlik

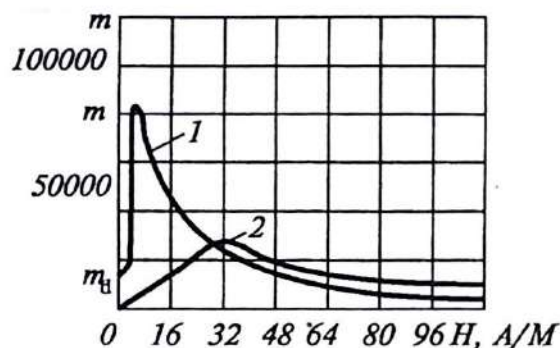
m_0 —materialning magnitlanish egri chizig'idagi bir nuqtada olingan magnit induksiya V ning magnit maydon kuchlanganligi N ga nisbati bilan o'lchanadigan xarakteristikasi bo'lib, bu kattalik genri taqsim metr (Gn/m) hisobida o'lchanadi; $m_a = V/N$, bu yerda V —magnit induksiya (T), N —magnit maydon kuchlanganligi (A/m).

Materialning nisbiy magnit singdiruvchanligi m —absolut magnit singdiruvchanlikning magnit doimiysiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalikdir; $m = m_a/m_0$ bu yerda m_0 —vakuum uchun magnit maydonni xarakterlovchi kattalik u qisqacha magnit doimiysi deb ataladi ($m_0 = 1,256637 \cdot 10^{-6}$ Gn/m), m —o'lchamsiz kattalik.

Absolut magnit singdiruvchanlik m_a dan faqat hisoblashlarda foydalaniladi. Magnit materiallarning xossalari baholash uchun tanlangan birliklar sistemasiga bog'liq bo'lmagan nisbiy magnit singdiruvchanlik m ishlatiladi. Bu kattalik magnit singdiruvchanlik deb yuritiladi.



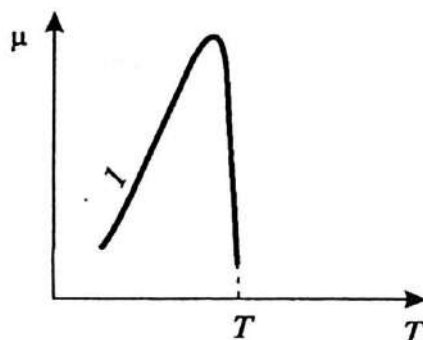
42-rasm. Ferromagnit materialning magnitlanish boshlanish grafigi.



43-rasm. Magnit singdiruvchanlikning magnit maydon kuchlanganligiga bog'lanish grafiklari:
1—permalloy uchun; 2—sof temir uchun.

Magnit singdiruvchanlik magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq (43-rasm). U boshlang'ich magnit singdiruvchanlik — m_b va maksimal magnit singdiruvchanlik — m_m ga bo'linadi. Boshlang'ich magnit singdiruvchanlik nolga yaqin magnit maydon kuchlanganligida o'lgangan miqdordir. m_b va

m_m larning qiymatlari katta bo'lsa, ushbu magnit material kuchsiz va kuchli magnit maydonlar ta'sirida oson magnetlanadigan material hisoblanadi.



44-rasm. Magnit material magnit singdiruvchanligining temperaturaga bog'liqlik grafigi.

T_1), bunda m_1 va m_2 —materialning mos ravishda T_1 va T_2 temperaturalardagi magnit singdiruvchanliklari.

44-rasmda magnit singdiruvchanlikning temperaturaga bog'liqligi tasvirlangan. Magnit singdiruvchanlik keskin ravishda nolgacha tushadigan temperatura Kyuri temperaturasi (T_k) deb ataladi. Bu temperaturadan yuqori

Magnit singdiruvchanlikning temperatura koeffitsiyentini TK_m . ferromagnetik temperaturasi bog'liq ravishda magnit singdiruvchanligining o'zgarish xarakterini baholashga imkon beradi. Magnit singdiruvchanlik temperaturalarning kichik $T_2 - T_1$ oraliqda chiziqli o'zgarganda $TK_m (1/^\circ C)$ kattalik ushbu formula bo'yicha hisoblab topiladi: $TK_m = (m_2 - m_1) / m_1 (T_2 -$

qiymatlarda ferromagnetikning magnitlanish jarayoni materialning atomlari va molekularining issiqlik harakati jadallashgani tufayli o'zgaradi, natijada, bu material ferromagnetik bo'lmay qoladi. Masalan, sof temir uchun $T_k = 768^\circ\text{C}$, nikel uchun $T_k = 358^\circ\text{C}$, kobalt uchun $T_k = 1131^\circ\text{C}$.

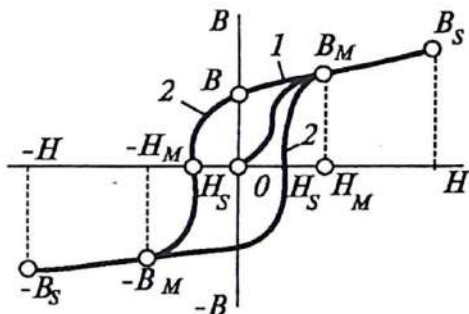
Hamma magnit materiallar uchun o'ziga xos bo'lgan induksiya V to'yinish induksiyasi deb ataladi. Berilgan magnit maydon kuchlanganligida V_d qancha katta bo'lsa, bu material shuncha yaxshi deb hisoblanadi. Boshlang'ich magnitlanishni ko'rsatuvchi grafikdan (45-rasm) ko'rinib turibdiki, magnit maydon kuchlanganligi ortishi bilan induksiya avval tez, keyin sekin ortadi, V_s ga yetgandan keyin esa deyarli o'zgarmaydi.

Agar magnit material namunasi magnit maydon kuchlanganligi N ni uzluksiz ortira borib magnitlanadigan bo'lsa, u holda magnit induksiya V ham boshlang'ich magnitlanish egri chizig'i bo'yicha uzluksiz orta boradi. Bu egri chizig'i to'yinish induksiyasi V_s ga mos keluvchi nuqtadan tugaydi. N kuchlanganlik kamayganda magnit induksiya ham kamaya boradi, biroq V_m qiymatga kelgandan so'ng boshlang'ich magnitlanish egri chizig'i 1 bo'yicha bormay, yo'nalish 2 bo'yicha boradi (45-rasm).

Qoldiq magnit induksiya V_r ferromagnet materialda, magnit maydon kuchlanganligi nolga teng bo'lganda, magnitsizlanish jarayonida ko'zatiladi. Material namunasi magnitsizlantirish uchun magnit maydon kuchlanganligi N ni teskari yo'naltirish kerak. Induksiya nolga teng bo'lib qoladigan maydon kuchlanganligi N_s koersitiv kuch deb ataladi. Koersitiv kuch qancha katta bo'lsa, material shuncha kam darajada magnitsizlanadigan material bo'lib hisoblanadi.

Material namunasini qarama-qarshi yo'nalishda magnitsiz-

lagandan so'ng unda yana tuyinish induksiyasi — V_s kuzatiladi. Magnit maydon kuchlanganligi yana $N=0$ gacha kamayganda va boshlang'ich yo'nalishda magnitlanish davom ettirilganda induksiya uzluksiz ravishda V_s gacha ortadi. Natijada, yopiq sirtmoq hosil bo'ladi. Bu sirtmoq chegaraviy (yoki statik) gisterezis sirtmoqi deb ataladi. Magnit induksiya to'yinish induksiyasiga teng bo'lgandagi doimiy magnit maydon $+N$ dan $-N$ gacha sekin o'zgartira berish bilan olingan gisterezis sirtmoqi chegaraviy gisterezis sirtmoqi deyiladi.



45-rasm. Magnitlanish boshlanishi grafigi
(1) gisterezis sirtmog'i (2)

Gisterezis uchun solishtirma energiya yo'qotilishi R_r —bir sikl mobaynida materialning massa birligini qayta magnitlash uchun sarf bo'ladigan energiya yo'qotilishi. Gisterezis uchun ketadigan solishtirma energiya yo'qotilishi ko'pincha magnit material kilogrammga to'g'ri keladigan Vatt (Vt/kg) hisobida o'lchanadi. Uning qiymati qayta magnitlash chastotasiga va maksimal induksiya V_m ning qiymatiga bog'liq. Bir sikl mobaynida gisterezis uchun ketadigan solishtirma energiya yo'qotilishi gisterezis sirtmogining yuzi bo'yicha aniqlanadi, ya'ni gisterezis sirtmog'i qancha katta bo'lsa, materialda yo'qotishlar shuncha ko'p bo'ladi.

Dinamik gisterezis sirtmogi materialni o'zgaruvchan magnit maydon ta'sirida qayta magnitlash jarayonida yuzaga keladi va statik gisterezisga nisbatan kattaroq yuzaga ega bo'ladi, chunki o'zgaruvchan magnit maydon ta'sir etganda materialda gisterezisga ketadigan energiya yo'qotishlardan tashqari, materialning magnit qovushqoqligi bilan aniqlanadigan uyurma toklarga va magnitlangandan keyingi ta'sir uchun sarflanadigan yo'qotishlar yuzaga keladi.

Uyurma toklar uchun yo'qotiladigan energiya R_u magnit materialning solishtirma elektr qarshiligi r ga bog'liq. Solishtirma elektr qarshilik qancha katta bo'lsa, uyurma toklar uchun yo'qotiladigan energiya shuncha kam bo'ladi, uyurma toklar uchun yo'qotiladigan energiya miqdori shuningdek magnit materialning zichligiga va uning qalinligiga bog'liq. R_u kattalik magnit induksiya V_m amplitudasining kvadratiga va o'zgaruvchan magnit maydon chastotasi f ga ham proporsionaldir.

List ko'rinishidagi magnit material namunasi uchun o'zgaruvchan maydonda R_u yo'qotishlar ushbu formula bo'yicha hisoblab topiladi:

$$P_y = (164 \cdot h^2 B_m^2 f^2) dp,$$

bu yerda h —list qalinligi, m; V_m — magnit induksiyaning maksimal (amplituda) qiymati, T; f —chastota, G; d —materialning zichligi, kg/m³; r —materialning solishtirma elektr qarshiligi, Om·m.

Materialga o'zgaruvchan magnit maydon ta'sir ettirib magnitlanishning dinamik egri chizig'i va mos ravishda dinamik gisterezis sirtmog'i olinadi. Magnitlanishning dinamik egri chizig'idagi induksiya amplitudasining magnit maydon kuchlanganligi amplitudasiga nisbati dinamik magnit singdiruvchanlikni beradi $m = V_m / N_m$.

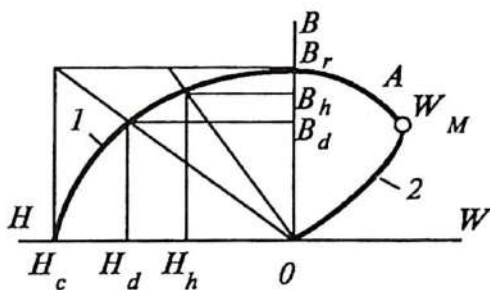
Gisterezis sirtmog'ining shaklini baholash uchun sirtmoqning to'g'ri burchakliligi koeffitsiyenti K_s dan chegaraviy gisterezis sirtmoqi (47-rasm) bo'yicha hisoblab topiladigan xarakteristikadan foydalaniladi: $K_s = V_G / V_M$.

K_s kattalikning qiymati qancha katta bo'lsa, gisterezis sirtmog'i shunchalik to'g'ri burchakliroq bo'ladi. EHM larning xotira qurilmalarida va avtomatikada qo'llaniladigan magnit materiallar uchun $K_s = 0,7 \div 0,9$ bo'ladi.

Solishtirma hajmiy energiya W_m (J/m^3) magnit qattiq materiallar xossalari baholash uchun qo'llaniladigan xarakteristika bo'lib, $W_m = (V_d N_d / 2) m$ ko'rinishda ifodalanadi, bunda V_d — solishtirma hajmiy energiyaning maksimal qiymatiga mos keluvchi induksiya T_1 ;

N_d — solishtirma hajmiy energiyaning maksimal qiymatiga mos keluvchi magnit maydon kuchlanganligi, A/m.

Ochiq magnit uchli magnitsizlanish egri chiziqi (1) va solishtirma magnit energiya egri chiziqi (2) 46-rasmda tasvirlangan. Chiziq (1) induksiyaning ma'lum V_d qiymati va unga mos N_d magnit maydon kuchlanganligida doimiy magnitning solishtirma hajmiy energiyasi maksimal W_m qiymatga erishadi. Bu energiya doimiy magnitning hajm birligiga nisbatan uning qutblari orasidagi tirqishda hosil bo'lgan eng katta energiyadir. W_m ning son qiymati qancha katta bo'lsa, magnit-qattiq material shuncha yaxshi va demak undan tayyorlanadigan doimiy magnit shuncha yaxshi magnit hisoblanadi.



46-rasm. Ochiq magnitning magnitsizlanish 1 va solishtirma magnit energiyasi 2 grafigi.

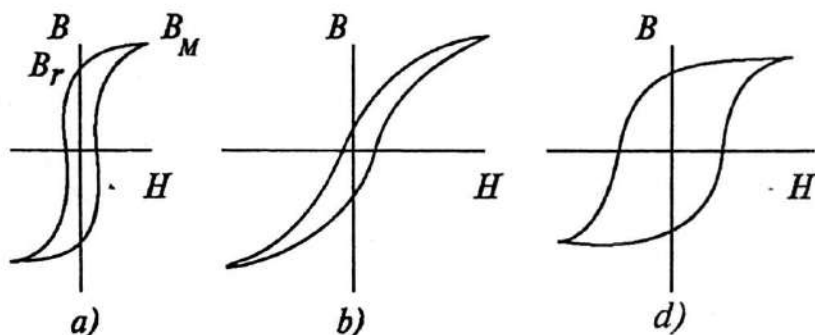
6.2. Magnit materiallar tasnifi

Magnit maydonda o'zini to'tishiga qarab magnit materiallar ikki guruhga bo'linadi: magnit-yumshoq va magnit-qattiq materiallar.

Magnit-yumshoq materiallar o'zining boshlang'ich va maksimal magnit singdiruvchanligining katta ekani va koersitiv kuch qiymatining kichik ekani ($N_s Q 4000$ A/m) hamda magnitlanishi va magnitsizlanishining osonligi bilan harakterlanadi. Bundan tashqari, ularda gisterezis uchun yo'qotishlar kam, ya'ni ularga tor gisterezis sirtmoqi to'g'ri keladi (47-rasm, a, b).

Magnit-yumshoq materiallarning magnit xarakteristikalari ularning kimyoviy sofli va kristall tuzilishining burilish darajasiga bog'liq. Magnit-yumshoq material tarkibida turli aralashmalar qancha kam bo'lsa, uning xarakteristikasi shuncha yuqori, ya'ni uning s_b va r lari katta, birok N_s va gisterezis uchun energiya yo'qotishlari shuncha kichik bo'ladi.

Shu sababli magnit-yumshoq materiallar ishlab chiqarishda ularning tarkibidagi eng zararli aralashmalarni uglerod, fosfor, oltingugurt, kislorod,



47-rasm. Yumshoq magnit (a, b) va qattiq magnit (d) materiallar uchun gisterezis sirtmog'i.

azot va boshqa tur oksidlarni chiqarib tashlashga harakat qilinadi. Shu bilan bir vaqtda materialning kristall tuzilishini buzmaslikka va unda ichki kuchlanishlarni yuzaga keltirmaslikka intiladi.

Magnit-qattiq; materiallar katta koersitiv kuchga ($N_s \geq 4000 \text{ A/m}$) va katta qoldiq induksiyaga ($V \leq 0,1 \text{ Tl}$) ega. Ularning gisterezis sirtmog'i kengroq (47-rasm d), ya'ni ularni magnitlash qiyin. Magnitlangandan so'ng ular o'zida magnit energiyani uzoq saqlashi mumkin, ya'ni magnit maydon manbayi bo'lib xizmat qila oladi, shuning uchun ulardan asosan turli doimiy magnitlar tayyorlashda foydalaniladi.

Magnit materiallar tarkibiy tuzilishi bo'yicha metall, nometall va magnitodielektrik materiallarga bo'linadi.

Metall magnit materiallarga sof metallar (temir, kobal, nikel) va ba'zi metallarning magnit qotishmalari kiradi: nometall magnit materiallarga temir oksidi va boshqa metallarning kukunsimon aralashmasidan olinadigan ferritlar kiradi. Presslangan ferrit buyumlar (masalan, o'zaklar)ga termik ishlov ($1300-1500^\circ\text{C}$ da) beriladi. Natijada, ular qattiq monolit magnit buyumga aylanadi. Ferritlar metall magnit materiallar kabi, magnit-yumshoq va magnit-qattiq turda bo'lishi mumkin. Magnitodielektriklar 60—80 % kukunsimon magnit material va 40—20 % dielektrikdan iborat bo'lgan kompozitsion materiallardir.

Ferritlar bilan magnitodielektriklar metall magni materiallardan solishtirma elektr qarshiligining kattaligi ($\rho = 10^2-10^8 \text{ Om}\cdot\text{m}$) bilan farq qiladi. Bu esa ularda uyurma toklarga sarf bo'ladigan energiya yo'qolishlarni keskin kamaytiradi. Bu ulardan yuqori chastotalar texnikasida fodalanish yamkonini beradi. Bundan tashqari, ko'pgina ferritlarning magnit xarakteristikalari keng chastotalar diapazonida, hatto ShYuCh da ham barqarorligini yo'qotmaydi.

6.3. Metall magnit-yumshoq materiallar

REA da ishlatiladigan asosiy metall magnit-yumshoq materiallar karbonil temir, permalloy, alsiferlar va past uglerodli kremniyli po'latlardir.

Karbonil temir diametri 1–8 mkm bo'lgan sferik zarrachalardan tashkil topgan mayin dispersiyalangan kukundan iborat. Karbonil temir pentakarbonil temir $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ning termin parchalanishi — uglerod oksidning temir bilan reaksiyaga kiritish yo'li bilan olinadi. Pentakarbonil temirning butlari termin parchalanganda sof temir zarralari ajralib chiqadi. Karbonil temir zarralarining uglerod oksidi bilan aralashishi natijasida hosil bo'lgan kukunga vodorodli muhitda termin ishlov beriladi. Bunday holatdagi Karbonil temirning magnit xarakteristikalari yuqori bo'ladi: $\mu_b = 2500 \div 3000$; $\mu_m = 20000 \div 21000$; $N_s = 4,5 \div 6,2 \text{ A/m}$.

Kukunsimon karbonil temir asosli yuqori chastotali magnitodielektrik o'zaklar tayyorlashda ishlatiladi. Bundan tashqari, karbonil temirdan chinni pishirish usulida monolit (yaxlit) metall tayyorlash mumkin, biroq bu usul iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas.

Permalloy—tarkibida 45–80 % nikel bo'lgan plastik temir nikeli qotishmalar bo'lib, yuqori plastiklikka ega, shu sababli 1 mkm qalinlikkacha yupqa listlar va tasmalar ko'rinishida oson prokat qilinishi mumkin. Permalloyning u yoki bu xususiyatlarini yaxshilash maqsadida unga molibden, xrom, kremniy yoki mis qo'shib, legirlangan permalloy hosil qilinadi. Tarkibida 45–50 % nikel bo'lgan permalloy nam nikelli permalloy; 60–80 % nikel bo'lgan permalloy esa ko'p nikelli permalloy deyiladi.

Hamma permalloylar o'zlarining yuqori magnit xarakteristikalari bilan farq qiladi (14 va 15-jadvallar). Bunga faqat ularning tarkibini yaxshilash va kimyoviy sofligini ta'minlash bilangina emas, balki shuningdek maxsus termin ishlov berish bilan ham erishiladi. Termin ishlov berish shundan iboratki, qotishma soatiga 400–500°C tezlik bilan qizdirilib, so'ng 1000–1150°C temperaturada 3–6 soat ushlab turiladi va xona temperaturasigacha soatiga 100–200°C tezlik bilan sovitiladi. Ba'zi permalloylarni 600°C gacha qizdirib, mis taxtachga ustiga qo'yib minutiga 150°C tezlik bilan sovitish kerak bo'ladi.

Permalloylarning harkteristikalari ular vodorodda yoki vakuumda kuydirib olinadi.

14 va 15-jadvallardan ko'rinib turibdiki, legirlangan Permalloylarning Legirlanmagan solishtirma elektr qarshiligi eng katta, ya'ni uyurma toklarga energiya yo'qotishlar juda kichik va magnit xarakteristikalari yaxshi. Shuning uchun ular yuqori chastotali REA larda ishlatiladi.

Legirlanmagan permalloylarning asosiy xarakteristikalar

14-jadval

Tarkibidagi nikel miqdori, °C	Boshlang'ich magnit singdiruvchanligi	Maksimal magnit singdiruvchanligi	Koerisitiv kuch, A/m	Solishtirma elektr qarshiligi, mkOm·m
78,5	7000—14000	130000—270000	2—3	0,25
66	3000—3700	120000—200000	3—5	0,33
50	2000—3000	50000—70000	6—10	0,45

Legirlangan permalloylarning asosiy xarakteristikalar

15-jadval

Tarkibidagi nikel miqdori, °C	Degirlovchi elementlar miqdori	Boshlang'ich magnit singdiruvchanligi	Maksimal magnit singdiruvchanlik	Koerisitiv kuch, A/m	Solishtirma elektr qarshiligi, mkOm·m
78,5	3,8 Mo	3000	25000	2	0,55
66	2 Mo	4000	12000	0,7	0,48
50	4 Cr	3000	30000	3	0,95

Permallyolarning hamma turlari mexanik deformatsiyalarga—kesish, shtamplash va boshqa mexanik ta'sirlarga juda sezgir. Shuning uchun yuqoridagi usullar bilan tayyorlangan buyumlarga qo'shimcha termin ishlov beriladi—vakuumda kuydiriladi. Kuydirish jarayoni shundan iboratki, buyum 900—1100 °C gacha qizdiriladi va shu temperaturada shu tarkibli permallyoy uchun belgilangan vaqt ushlab turiladi hamda belgilangan tezlikda sovutiladi.

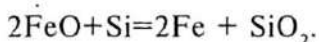
Permallyoy materiallar 0,002—0,5 mm qalinlikdagi tasmalar, 1—2 mm qalinlikdagi listlar va 5—50 mm va undan ortiq diametrli chiziqlar ko'rinishida ishlab chiqariladi. Kam nikelli permallyoylar drossellar, jajmi (kichik o'lchamli) transformatorlarning o'zaklarini tayyorlashda ishlatiladi. Legirlangan nam nikelli va ko'p nikelli permallyoylar 1—5 MHz chastotalarda ishlaydigan apparatlarning detallarini tayyorlashda ishlatiladi.

Magnit kuchaytirgichlarda temperaturaga unchalik bog'liq bo'lmagan to'g'ri to'rtburchakli gisterezis sirtmog'iga ega bo'lgan permalloylar (50NP, 79NM, 80NM) ishlatiladi. Permalloylarning magnit xarakteristikalarini -60° dan $+60^{\circ}$ gacha oraliqda barqaror saqlanadi.

Alsiferlar 5,5—13 % alumini, 9—10 % kremni, qolganlari temirdan iborat parchalanmaydigan (bolg'alanmaydigan), toblanmaydigan mo'rt qotishma. Sanoatda ishlab chiqariladigan alsifer navlari quyidagi xarakteristikalariga ega: $\mu_2=6000 \div 7000$; $\mu_m=30000 \div 35000$; $H_b=2,2 \text{ A/M}$; $\rho=0,8 \text{ mk Om}\cdot\text{m}$.

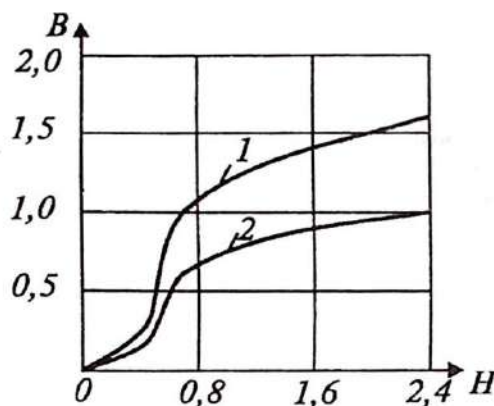
Alsifer nisbatan cheklangan sohadagina permalloy o'rnini egallay oldi. Undan 50 kGs dan yuqori bo'lmagan diapazonda ishlaydigan quyma o'zaklar tayyorlanadi, chunki bundan yuqori chastotalarda uyurma toklarga sarflanadigan yo'qotishlar paydo bo'ladi. Magnit kallaklar tayyorlash uchun tarkibida 2,5% xrom, 16 % aluminiy va qolgani temir bo'lgan emirilishga chidamli 16 YuX qotishmasi ishlatiladi. Bu qotishmaning magnit xarakteristikasi: $\mu_b=15000$; $\mu_m=140000$, solishtirma elektr qarshiligi esa $\rho \approx 1,5 \text{ mk Om}\cdot\text{m}$.

Kam uglerodli, kremniyli po'latlar temir va 0,8—4,8 % kremniydan iborat qotishma. Kremniyli po'lat tarkibida uglerod 0,08 %dan ortiq bo'lmaydi. Kremniyli po'lat 0,05—1 mm qalinlikdagi listlar va tasmalar ko'rinishida ishlab chiqariladi, va nisbatan arzon material hisoblanadi. Po'latga ishlov berilganda undagi kremniy suyuqlangan holatda bo'lib, u FeO bilan reaksiyaga kirishadi. Bunda po'latdan sof temir ajralib chiqadi va qumtuproq hosil bo'ladi:



Qumtuproq po'latning solishtirma elektr qarshiligini oshiradi va uyurma toklarga ketadigan isroflarni kamaytiradi. Kremniy temir kristallarining o'sishiga yordam beradi, shuningdek sementit Fe_3C ning parchalanishiga sabab bo'lib, po'latning magnit xarakteristikalarini yaxshilaydi. Po'latga ko'p miqdorda kremniy qo'shilganda uning magnit xarakteristikasini yaxshilaydi, ammo po'latning mo'rtligini oshiradi, bu esa undan shtamplash usuli bilan detallar tayyorlash ishlarini murakkablashtirib qo'yadi. Shu sababli po'lat tarkibiga 4,8 %dan ortiq kremniy kiritilmaydi.

Kremniyli po'lat listlarni tayyorlash uchun zagotovkalar qizdiriladi yoki sovuq holda prokat qilinadi, shu sababli issiqlayin va sovuqlayin prokat qilingan kremniyli po'latlar bo'ladi. Ma'lumki, temir kristallari kub strukturaga ega, magnit maydon yo'nalishi temir kristali kubining qirradi yo'nalishi bilan mos tushganda temir jadal magnitlanadi. Shuning



48-rasm. Sovuqlayin (1) va issiqalayin (2) prokat qilingan kremniyli po'latlarning magnitlanish xarakteristikasi.

qilingan po'latlardan afzalligi 48-rasmda ko'rsatilgan.

Sovuqlayin prokat qilingan po'latlar faqat magnit oqimi prokat yo'nalishi bilan mos kelgandagina yaxshi magnit xarakteristikaga ega bo'ladi. Bu yo'nalishlar mos kelmaganda ularning magnit xarakteristikalari issiqalayin prokat qilingan po'latlarnikidan past bo'ladi. Shuning uchun sovuqlayin prokat qilingan teksturali po'latlardan tasmaimon o'zaklar tayyorlashda foydalanish juda samarali hisoblanadi. Kremniyli po'latlarning magnit xarakteristikalarini permalloyniki bilan taqqoslab ko'rilsa, permalloy katta afzallikka ega ekanligini sezish mumkin. Shu sababdan kremniyli po'lat elektroapparaturlarning magnit singdiruvchanlik juda katta bo'lmagan va muayyan miqdorda energiya isroflariga yo'l qo'yish mumkin bo'lgan uncha muhimmas qismlarida ishlatiladi.

6.4. Metall magnit-qattiq materiallar

Magnit-qattiq materiallar elektroapparaturlarda ishlatiladigan doimiy magnitlar tayyorlashda qo'llaniladi. Doimiy magnitlarga nisbatan qo'yiladigan talab shundan iboratki, ular qutblari orasida doimiy kuchlanganlikli va induksiyali doimiy magnit maydon hosil qilishi kerak. Buning uchun doimiy magnit katta magnit energiyaga, ya'ni magnit-qattiq materiallar katta koersitiv kuchga va qoldiq magnit induksiyaga ega bo'lishi lozim.

Har qanday doimiy magnitda vaqt o'tishi bilan magnit oqimi, ya'ni solishtirma magnit energiyasi kamayadi. Bu jarayon magnitning eskirishi

uchun kremniyli po'lat listlar sovuqlayin bir yo'nalishda bir necha marta prokat qilinadi, shundan so'ng vodorodli muhitda 900°C da yumshatiladi. Yumshatish jarayonida listlar tarkibidan materialning magnit xossalarini pasayishiga olib keluvchi aralashmalar chiqib ketadi, bundan tashqari, prokat tufayli deformatsiyalangan temir kristallari dastlabki shakliga qaytadi.

Sovuqlayin prokat qilingan, kristall qirralari prokat yo'nalishida joylashgan kremniyli po'lat tekstura qilingan po'lat deyiladi. Sovuqlayin prokat qilingan teksturali po'latlarning issiqalayin prokat

Yuqori legirlangan po'latlarning asosiy xarakteristikalari

16-jadval

Kremniy va po'lat miqdori	Prokat qilish turi	Boshlang'ich magnit singdiruvchanligi	Maksimal magnit singdiruvchanlik	Koersitiv kuch, A/m
4,0	Issiqalayin	300—400	6000—8000	31—13
3,8	Sovuqlayin	600—900	2000—35000	9,5—14

deb ataladi va u qaytar yoki qaytmas jarayon bo'lishi mumkin. Eskirishning bir turi magnitning titrash, zarblar, temperaturaning keskin o'zgarishi natijasida yuzaga keladi. Ikkinchi turi magnit-qattiq material strukturasining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, u qaytmas jarayon hisoblanadi. Shunday qilib, magnit-qattiq materiallarga nisbatan qo'yiladigan ikkinchi talab ularning eskyrishga chidamliligidir.

Metall magnit-qattiq materiallarni uch asosiy guruhga ajratish mumkin: martensit ko'p uglerodli legirlangan po'latlar; temir—aluminium—nikel asosidagi qotishmalar; metall-keramik magnit-qattik materiallar.

Ko'p uglerodli po'latlarda martensit struktura toblash yo'li bilan hosil qilinadi, ya'ni temirdagi uglerod eritmaga aylanadigan temperaturagacha qizdiriladi (austenit), keyin suvda yoki moyda keskin sovutiladi. Martensit strukturali temir kristallari keskin bo'ziladi bo'yiga cho'ziladi, karbid (Fe_3S) ning eng mayda zarralari po'latning mikrostrukturasi ichiga tarqalib, uning kristallari ichida ichki kuchlanishni oshiradi. Bu hol martensit po'latdan tayyorlangan doimiy magnitlarga qattqlik beradi. Toblangan legirlangan po'latdan tayyorlangan doimiy magnitlarning koersitiv kuchi va qoldiq magnit induksiyasi boshqalarinikiga nisbatan katta.

Martensit po'latlar sifatida xromli, volframli va koballi po'latlardan foydalaniladi. Xromli po'latlar uchun legirlovchi komponent xrom (1,3—3,6 %), volframli po'latlarda — volfram (5,5—6,5 %) va xrom (0,3—0,5 %), kobatli po'latlarda — kobalt (5—17 %), molibden (1,2—1,7 %) va xrom (6—10 %) hisobdanadi. Bu po'latlar tarkibida 0,9—1,1 % uglerod, qolganlari temir bo'ladi.

Doimiy magnitlar po'lat chivqlardan va martensit po'lat tasmlardan qizdirib bolqalash yoki shtamplash yo'li bilan tayyorlanadi. Doimiy magnitlarga mexanik ishlov berilgandan so'ng martensitda toblanadi, so'ngra magnitlanadi. Hamma magnitlarning magnit xarakteristikalari barqaror bo'lishi uchun ularni sun'iy ravishda eskirtiriladi, ya'ni ular qaynab turgan suvda uzoq vaqt saqlanadi.

Po'lat magnitlarning asosiy magnit xarakteristikalari quyidagilar: xromli po'lat uchun $V_g=0,90$ Tl; $N_s=4600$ A/M; $W_m=2,4$ kJ/m³; volframli po'lat uchun $V_g=1$ Tl; $Y_a=5000$ A/M; $W_m=5,5$ kJ/m³; koballi po'lat uchun $V_g=0,95 \div 1,1$ Tl; $N_s=8000 \div 13600$ A/M; $W_m=11,0$ kJ/m³.

Eng yaxshi material koballi po'latdir, biroq u xromli va volframli po'latga nisbatan ancha qimmat turadi. Hamma po'latlarni topish mumkin va ularga ishlov berish ham oson, biroq magnit xarakteristikalari nisbatan pastligi tufayli ularni ishlatish sohalari cheklangan.

Temir—aluminium—nikel asosidagi kobal, mis, titan va niobiy bilan legirlangan magnit-qattiq qotishmalarning (masalan, YuND12, YuNDK15, YuNDK18, YuN13DK14 va boshqalar) magnit xarakteristikalari ancha yuqori. Qotishmalarning markalanishidagi harflar quyidagilarni bildiradi—aluminium, N—nikel, D—mis, K—kobal, B—niobiy, T—titan. Tegishli harflardan keyin turgan raqamlar qotishmadagi shu komponent necha foizni (massasi bo'yicha) tashkil etishini bildiradi. Bu qotishmalardan magnitlar tayyorlash uchun faqat quyish usulidan foydalanish mumkin. Ularning magnit xarakteristikalari yuqori: $V_g=0,5 \div 1,4$ Tl; $N_s=(42 \div 145) \cdot 10^3$ A/M;

$W_m=14 \div 32$ kJ/m³. Bunday yuqori magnit xarakteristikalarga dispersion qotirish jarayoni tufayligina erishish mumkin. Bu jarayon quyidagicha kechadi: magnit 1100—1200°C gacha qizdiriladi, bunda qotishmaning tarkibiy qismlari temirda suyuqlanadi. So'ngra magnit keskin sovitilganda uning materiali ichida o'ta to'yingan qotishma komponentlarining qattiq eritmasi hosil bo'ladi. Temirda ortiqcha miqdorda erigan qotishma komponentlari vaqt o'tishi bilan yuqori disperslangan zarralar ko'rinishida ajralib chiqib boshlaydi, ular magnitning hamma tarkibiy qismi bo'ylab tarqalib, temir kristallar ichida ichki kuchlanishni yuzaga keltiradi. Bu esa qotishmaning koersitiv kuchi va qoldiq magnit induksiyasi yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Bu jarayonni tezlashtirish uchun kritik sovitish tezligiga (sekundiga 15—30°C) rioya qilgan holda magnit yumshatiladi. Magnitlarga bunday ishlov berish dispersnoy qotirish deb ataladi.

Tarkibida 12 % va undan yuqori miqdorda kobal bo'lgan qotishmalarning magnit xarakteristikalarini quyish yo'li bilan olingan magnitlarga termomagnit ishlov berish yo'li bilan oshirish mumkin. Buning uchun magnit 1300°C gacha qizdiriladi va kuchli magnit maydonda sovitiladi (sekundiga 10—15°C sovitish tezligida). Tashqi magnit maydon ta'siri yo'nalishida domentlarning joylashib qolishi tufayli sovitilgan magnitlar magnit teksturaga ega bo'ladi. Buning natijasida ularning energiyasi qoldiq magnit induksiyaning keskin ortishi hisobiga 20—30 % ortadi. Bu qotishmalardan tayyorlangan magnitlar martensit po'latlarga nisbatan eskirishga ancha chidamli bo'ladi. Qotishmalarning namligi shundan

iboratki, qattiqligi va mo'rtligi yuqori bo'lganligi uchun ularga oddiy mexanik ishlov berish mumkin emas. Kobaltli temir, nikel, aluminiy qotishmalardan tayyorlangan magnitlarga silliq lab ishlov berish mumkin.

Juda kichik o'lchamli yoki murakkab shakldagi magnitlar metall kukunlaridan olinadigan metall-keramik materiallardan ko'plab ishlab chiqarishga harakat qilinadi. Metall keramik magnitlar, temir—nikel—aluminiy yoki temir nikel—aluminiy—kobalt kukunlari asosida tayyorlanadi. Ularning nisbati shunday tayyorlanadiki, presslangandan va yuqori temperaturada pishirilgandan so'ng magnit qattiqligi ta'minlansin. Metallar va ularning qotishmalari 10 mkm dan ortiq bo'lmagan o'lchamlargacha maydalab tuyiladi. Berilgan kukunsimon massadan magnit tayyorlash uchun 1,0—1,5 MPa bosimda presslanadi. Presslangan magnitlar himoyalovchi atmosferada yoki vakuumda 1100—1300°C temperaturada pishiriladi. Pishirilgandan so'ng magnitlar toblanadi, so'ngra berilgan tezlikda sovitib yumshatiladi. Kobaltli magnitlarning magnit, qattiqligini yaxshilash uchun ularga tashqi magnit maydon ta'sirida termomagnit ishlov beriladi.

Tayyor holatdagi metall-keramik magnitlarda uncha katta bo'lmagan (2—5 %) qovaklik mavjud bo'ladi. Bu esa ularning magnit xarakteristikalarining biroz pasayishiga sabab bo'ladi. Metall-keramik magnitlarning afzalligi shundaki, ularning sirti toza, qo'shimcha ishlov berishni talab qilmaydi va berilgan o'lchamlari aniq bo'ladi. Metall-keramik materiallardan tayyorlangan magnitlarga faqat silliq lab ishlovi berish mumkin. Nodir yer elementlari va kobal asosida tayyorlangan magnit-qattiq, materiallar koersitiv kuchi va solishtirma hajmiy energiyasining kattaligi bilan ajralib turadi. Bu qotishmalar RSO_5 turidagi inter—metall birikmalardan iborat bo'lib, bu yerda R—nodir yer elementi (ittriy, samariy yoki seziy), qolganlari—kobalt. Bu moddalardan tashkil topgan doimiy magnitlar kukunsimon massalardan sovuqlayin presslash va keyin pishirish yoki quyish usuli bilan olinadi. Hosil qilingan doimiy magnitlarning namunalari quyidagi xarakteristikaga ega bo'ladi: $V_R=0,80 \div 95$ Tl; $N_s=(10-13) \cdot 10^3$ A/M; $W_m=60 \div 90$ kJ/m³.

6.5. Ferritlar

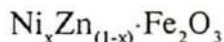
Ferritlar temir oksidi Fe_2O_3 bilan boshqa metallar oksidlari ZnO-NiO va boshqalarning birikmalaridan iborat. Presslab tayyorlangan ferrit buyumlar yuqori temperaturada pishiriladi. Ferritning nomi uning tarkibiga kirgan ikki valentli yoki bir valentli (gohida) metall oksidi miqdoriga qarab belgilanadi. Masalan, agar ferrit tarkibiga rux oksidi ZnO kirgan

bo'lsa, u holda bu ferrit rux ferriti, agar nikel oksidi NiO kirgan bo'lsa nikel ferriti deb ataladi va hokazo.

Tarkibida temir oksidi Fe_2O_3 dan tashqari boshqa metall oksidi bo'lgan ferritlar oddiy ferritlar deb ataladi. Ferritning kimyoviy formulasi umumiy ko'rinishda quyidagicha yoziladi: $\text{MeO} \cdot x \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ yoki MeFe_2O_4 , bu yerda Me-oksidi ferrit tarkibiga kirgan metall belgisi. Rux va nikel ferritlarning kimyoviy formulalari quyidagicha yoziladi: ZnFe_2O_4 yoki NiFe_2O_4 .

Oddiy ferritlarning hammasi ham magnit xossalarga ega bo'lavermaydi. Masalan, rux va kadmiy ferritlari ($\text{S}_d \text{Fe}_2\text{O}_4$) magnit bo'lmagan moddalardir. Oddiy ferritlarda magnit xossalarining mavjud yoki mavjud emasligi ularning tarkibiga va kristall panjarada ionlar taqsimoti (joylashishi) ga bog'liq. Yuqorida sanab o'tilgan oddiy ferritlar shpinel turidagi kub panjaraga ega. Bunday panjara ikki valentli, zich joylashgan, manfiy zaryadlangan kislorod ionlaridan iborat bo'lib, bu ionlar oralirida to'rt yoki olti kislorod ioni bilan o'ralgan musbat zaryadli metall ionlari joylashgan. Shpinel turidagi kub panjarada metall ionlari normal yoki yuzma-yuz turgan shpinel tarzida taqsimlanishi mumkin. Normal shpinel tarzida kristallanuvchi rux va kadmiy ferritlari magnit xossalarga ega emas, yuzma-yuz qaragan shpinel tarzida kristallanuvchi ferritlar esa magnit xossalarga ega bo'ladi.

Bitta oddiy ferritning ikkinchi oddiy ferrit bilan qattiq aralashmasidan iborat murakkab yoki aralash ferritlar eng yaxshi magnit xarakteristikalariga ega. Bu holda magnitmas ferritlarni oddiy magnit ferritlarga qo'shib ishlatish mumkin. Masalan, oddiy rux va nikel ferritlarning qattiq eritmasi aralash nikel — rux ferritni hosil qiladi, uning kimyoviy formulasi quyidagicha:

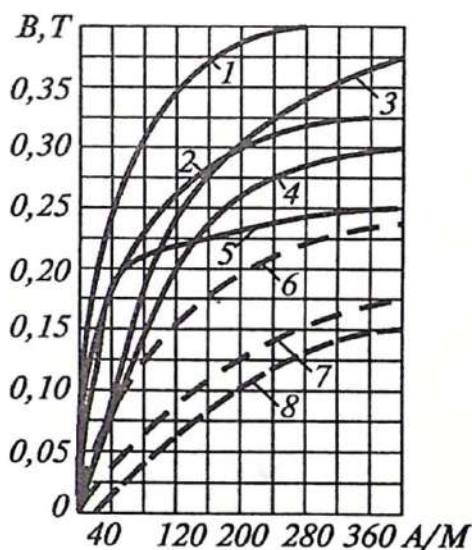


Keltirilgan formuladagi x material tarkibidagi nikel oksidining molar ulushini, $(1-x)$ esa rux oksidining molyar ulushini anglatib, bu ulushlar yig'indisi birga teng bo'ladi.

Ferritlar keramika ishlab chiqarish texnologiyasi bo'yicha tayyorlanadi, ya'ni ma'lum nisbatda olingan boshlang'ich kukunsimon metall oksidlari tegirmonda maydalab chiqariladi. Bu maydalab tuyilgan kukunlar aralashmasi briketlar tarzida presslanadi, ular pechlarda birinchi marta qizdirib kuydiriladi. Kuydirib pishirilgan briketlar tuyib talqon qilinadi va hosil bo'lgan mayin dispersiyalangan kukunga biror plastifikator, masalan, polivinil spirti qo'shiladi. Olingan massadan ferrit buyumlar (o'zaklar, halqalar) presslab tayyorlanadi, so'ng ular $1000-1400^\circ\text{C}$ temperaturada kuydiriladi. Hosil qilingan mo'rt qattiq buyumlarni (ko'proq qora rangda) faqat silliqlash mumkin.

REA da aralash magnit—yumshoq ferritlar: nikel—rux, marganes—rux, litiy—rux ferritlar ko'p ishlatiladi. Ferritlarning shartli belgilari: NN—nikel—rux, NM— marganes—rux, VCh—yuqori chastotali litiy—rux, SCh—o'ta yuqori chastotali, VT—to'g'ri burchakli gisterezis sirtmog'iga ega. Harfiy belgilar oldidagi raqamlar boshlang'ich magnit singdiruvchanlikning o'rtacha qiymatini bildiradi. O'ta yuqori chastotali ferritlarning markalaridagi bunday raqamlar to'liq uzunligining o'rtacha qiymatini (sm), gisterezis sirtmog'i to'g'ri burchakli bo'lgan ferritlarda esa koersitiv kuchni (A/M) bildiradi. Masalan, 4000 NM—boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 4000 ga teng bo'lgan marganes—rux ferrit; 150 VCh — boshlang'ich magnit singdiruvchanligi 150 ga teng bo'lgan yuqori chastotali ferrit. Ferritlarning qo'shimcha xarakteristikalar: zichligi 3800—5000 kg/m³; KTR=(5÷12)·10⁻⁶ 1/°C; g'ovakligi 1—15 %. 49-rasmdan ko'rinib turibdiki, ferritlar metall magnit-yumshoq materiallarga nisbatan kichik to'yinish induksiyasiga ega, shu sababli ulardan kuchli maydonlarda foydalanish yuqori samara bermaydi. Shunday ferritlar borki, masalan, NMS ferritlar ular katta to'yinish induksiyasiga ega. 17-jadvaldan ko'rinib turibdiki, ferritning boshlang'ich magnit singdiruvchanligi qancha kichik bo'lsa, undan shuncha keng chastotalar diapazonida foydalanish mumkinligi ko'rinib turibdi.

Ferritlarning afzalligi shundan iboratki, keng chastotalar diapazonida magnit xarakteristikalar barqaror, uyurma toklarga kam energiya isrof bo'ladi, elektromagnit to'liqning so'nish koeffitsiyenti kichik shuningdek, ferrit buyumlarni tayyorlash oson. Ferritlar ham barcha magnit materiallar kabi, faqat Kyuri temperaturasi T_k gacha o'zining magnit xossalarini saqlaydi. Tarkibi turlicha bo'lgan ferritlar uchun T_k ning qiymati keng oraliqda yotadi: 70°C dan 500°C, gacha SVCh



49-rasm. Marganes-rux (NM) va nikel-rux (NN) ferritlarning magnitlanish egri chiziqlari:
1—4000 NM, 2 — 3000 NM;
3—2000 NM, 4 — 1000 NM;
5—2000 NN, 6 — 600 NN;
7—400 NN, 8 — 200 NN.

(ShYuCh) apparaturalarida metall magnit materiallar va past chastotali ferritlar (nikel—rux va boshqa ferritlar) solishtirma elektr qarshiligi kichikligi sababli qo'llanilmaydi, aks holda uyurma toklarga sarflanadigan energiya yo'qolishlari ortib ketadi.

SVCh (ShYuCh) texnikasida polikristall va monokristall ferritlar qo'llaniladi. Polikristall ferritlar qatoriga litiyli ($10S-9$), magniyli, nikelli va boshqa ferritlar kiradi. Ferritlarning bu guruhi SVCh (ShYuCh) diapazonida katta solishtirma elektr qarshilikka (10^8-10^{10} OM·m) va barqaror magnit xarakteristikalariga ega. Solishtirma elektr qarshiligi katta va dielektrik isroflari kichikligi bilan farqlanuvchi ferrit granatlar SVCh (ShYuCh) texnikasida keng qullanadi.

Doimiy magnitlar tayyorlash uchun magnit-qattiq ferritlardan foydalaniladi, ulardan bariyli ferritlar $BaO \cdot 6F_2O_3$ ko'p ishlatiladi. Bariyli ferritlar magnit-yumshoq ferritlardan farqli ravishda kub tuzilishga emas, balki geksagonal kristall tuzilishga ega bo'lib, magnit anizotrop xususiyatga ega, bu esa mazkur ferritning koersitiv kuchini oshiradi. Bariyli ferritlar, tuzilishiga ko'ra ixtiyoriy joylashgan kristall zarrachalar to'plamidan tashkil topgan polikristall materiallardan iborat, bu esa barcha yo'nalishlarda ferritning bir jinsliliğini bildiradi. Bu ferritlar izotrop hisoblanadi (BI markali).

Agar presslab magnit tayyorlash jarayonida kukunsimon massaga kuchlanganligi katta ($N \approx 800$ kA/M) tashqi magnit maydoni ta'sir ettirilsa, kristall zarrachalar bir yo'nalishda joylashib qoladi. Shunday usulda tayyorlangan bariyli magnitlar anizotrop bo'ladi (BA markali), ular

Magnit yumshoq bariyli ferritlarning asosiy xarakteristikalari

17-jadval

Ferrit markasi	Boshlang'ich magnit singdiruvchanligi (o'rtacha qiymati)	Koersitiv kuch, A/m	Solishtirma elektr qarshiligi, Om·m	Chegaraviy chastota*, MGs	Kyuriy tempereturi, °C
6000 NM	6000	12	0,1	0,01	130
4000 NM	4000	16	0,5	0,7	130
3000 NM	3000	24	0,5	0,8	140
2000 NM	2000	20	0,5	1,5	200
1000 NM	1000	80	0,5	1,6	200
1000 NM	1000	32	20	0,4	110
600 NN	600	56	10^2	1,2	110
400 NN	400	80	10^3	2,0	120
200 NN	200	160	10^2	3,0	120
150 VCH	150	640	10^6	25	400
100 VCH	100	720	10^4	35	400
50 VCH2	50	800	10^6	70	450
10 VCH2	10	560	10^8	250	450

Magnit qattiq bariyli ferritlarning asosiy xarakteristikalar

18-jadval

Ferrit markasi*	Qoldiq magnit induksiya, Tl	Koersitiv kuch, kA/m	Maksimal magnit energiya, kJ/m ³	Solishtirma elektr qarshiligi**, mkOm·m	Kyuriy temperetura, °C
6B1240	0,19	240	6	10 ⁸ —10 ⁶	450
7B1300	0,20	300	7		
16BA190	0,30	190	16		
15BA300	0,30	300	15		
18BA220	0,33	220	18		
22BA220	0,36	220	22		
24BA210	0,37	210	24		
25BA150	0,38	150	25		
28BA170	0,38	170	28		
28BA190	0,39	190	28		

o'choqda qizdirib yumshatilgandan so'ng izotrop magnitlarnikiga nisbatan magnit xarakteristikalar yuqori bo'ladi. Bariyli ferritlardan tayyorlangan magnitlar katta solishtirma elektr qarshilikka (10^3 — 10^6 Om·m) ega. Foydalanish qulay bo'lishi uchun bariyli magnitlarning uzunligi ko'ndalang kesimiga nisbatan qisqaroq tanlanadi.

Bariyli ferritlar magnit xarakteristikalarining barqarorligi bilan farq qiladi, biroq ular temperaturaning keskin o'zgarishiga sezgir.

Ular tanqis bo'lmagan kukunsimon materiallar—temir oksidlari (Fe_2O_3) va bariy, karbonat (BaSO_3)lardan keramika tayyorlash texnologiyasi bo'yicha tayyorlanadi. Bariyli ferritlardan tayyorlangan magnitlar temir — nikel — aluminiy qotishmalari va boshqa metall materiallardan tayyorlangan magnitlarga nisbatan ancha arzon.

Hamma ferritlar juda mo'rt bo'ladi, shuningdek magnit xossalari temperaturaga va mexanik ta'sirlarga bog'liq. Bu ularning kamchiligi hisoblanadi. Ferritlar magnit yarim o'tkazgich hisoblanadi, demak, temperatura ortgan sari ularning solishtirma elektr qarshiligi kamayadi, bu esa uyurma toklarga ketadigan energiya sarfini orttiradi (18-jadval).

6.6. Magnitodielektriklar

Magnitodielektriklar magnit-yumshoq materialning mayin tuyilgan zarrachalaridan iborat kompozitsion materialdir. Bu zarrachalar bir-biri bilan biror organik yoki anorganik dielektrik orqali bog'langan. Mayin tuyilgan magnit-yumshoq materiallar sifatida Karbonil temir, alsifer va kukun holigacha maydalangan permalloyning ba'zi turlaridan foydalaniladi.

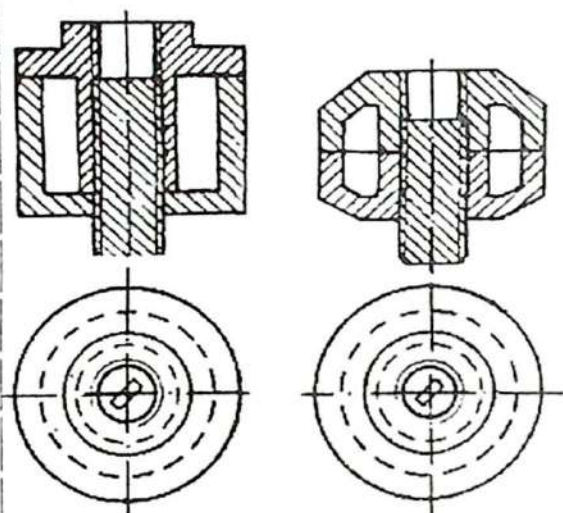
Dielektriklar sifatida esa epoksid yoki bakelit smolalar, polistirol, suyuq shisha va boshqalar ishlatiladi.

Dielektrikning vazifasi magnit material zarralarini bir-biri bilan bog'lashdan tashqari ular orasida elektrdan izolatsiyalovchi qatlam hosil qilish, shu bilan magnit-dielektrikning solishtirma elektr qarshiligini oshirishdan iborat. Bu esa uyurma toklarga sarflanadigan energiya isrofini keskin kamaytiradi, shu bilan magnit-dielektriklardan yuqori chastotalarda (magnit-dielektrik tarkibiga bog'liq ravishda 10 dan 100 MГu gacha) ham foydalanishga imkon beradi.

Karbonil temir va polistirol asosidagi magnit-dielektriklar alisifer va bakelit smolalar asosidagi magnit-dielektriklarga nisbatan ancha yuqori chastotalarda ishlashi mumkin.

Karbonil magnit-dielektriklarning ish temperaturasi —60 dan +100°C gacha, Alsiferlar uchun — 60 dan + 120°C gacha. Magnit-dielektrik tarkibida 15—40 % dielektrik bo'lganda, ular diamagnit material hisoblanib ($m < 1$), ularning magnit xarakteristikalar boshlang'ich ferromagnit to'ldirgichlikiga (karbonil temir, alsifer va b.) nisbatan o'nlab marta kamayadi.

Magnitodielektriklarning magnit xarakteristikalar ferritlarnikidan birmuncha past bo'lishiga qaramay, ular elektroappaturalarning yuqori chastotali qismlaridagi o'zaklarni tayyorlashda foydalaniladi. Bunga sabab shuki, magnitodielektriklarning magnit xarakteristikalar ferritlarnikiga nisbatan juda barqaror va ulardan murakkab shakldagi o'zaklar tayyorlash imkoni bor (50-rasm). Magnitodielektrik buyumlar qizdirib presslash yoki bosim ostida quyish usullarida tayyorlanadi. Magnitodielektriklardan buyumlar ishlab chiqarish ferritlarga nisbatan ancha sodda, shu sababli ularga yuqori temperaturada issiqlik ishlov berishning hojati yo'q. Bundan tashqari, magnitodielektriklardan yasalgan buyumlarning sirtlari juda toza va o'lchamlari aniq chiqadi.



50-rasm. Murakkab shakldagi magnitodielektrik o'zaklar (zirhlovchi qoplamalar).

VII bob. O'TA O'TKAZUVCHANLIK VA O'TA O'TKAZGICHLAR

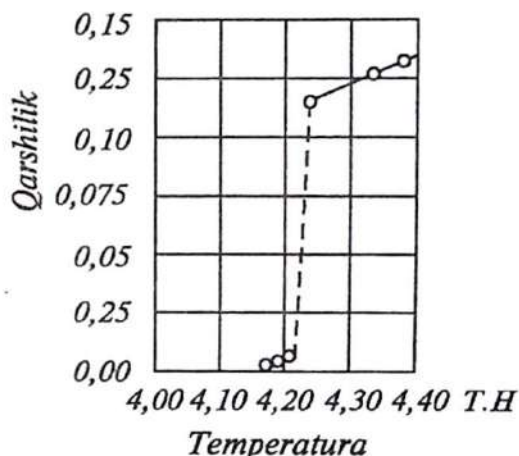
7.1. O'ta o'tkazuvchan materiallar

1911-yilda Golland olimi X. Kamerling-Onnes simobning juda past temperaturadagi qarshiligini o'lcayotib, o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini ochdi. Uni moddani begona moddalardan maksimal tozalaganda va temperaturani maksimal darajada pasaytirganda qarshiligi qanchagacha pasayishi qiziqtirgan. Bu tajriba kutilmagan natijani berdi: temperatura 4,15 K ($-268,85$ gradus)ga pasayganda simobning qarshiligi bir zumda yo'qoldi. Qarshilikning bunday o'zgarishi 51-rasmda ko'rsatilgan.

O'tgan asrning boshlaridayoq qattiq jismlarda tok tashuvchi vosita

elektronlar ekanligi ma'lum edi. Ular manfiy zaryadga ega, atomlardan ancha yengil. Musbat zaryadlangan yadro Kulon qonuniga asosan elektron bilan o'zaro ta'sirlashadi. Har bir elektron yadro atrofida o'z «orbitasiga» ega. Orbita yadroga qancha yaqin bo'lsa elektron unga shuncha kuchli tortiladi, elektronni yadrodan ajratib olish uchun shuncha ko'p energiya talab qilinadi. Aksincha, eng chetki yadrolarni ajratish yengil, uning uchun ozroq energiya talab qilinadi. Tashqi elektronlar valentli deyiladi.

Tashqi elektronlar qattiq jism hosil qilgan atomlarda haqiqatan ham yengil ajraladi va qariyib erkin elektronlar gazini hosil qiladi. Huddi, qattiq jismni bir ko'za deb faraz qilinsa, u to'la gaz. Bu gaz—erkin elektronlar. Bu qattiq jism parchasiga elektr maydoni ta'sir etsa, elektron gazdan «shamol» paydo bo'ladi, ya'ni elektronlar harakatga kelib, maydon ta'sirida bir tomonga intiladi. Bu «shamol» elektr tokidir.



51-rasm. Qarshilikning past temperaturalarda «yo'qolishi» o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishi.

Metallar

Ma'lumki, hamma moddalar ham tok o'tkazavermaydi. Dielektriklarning valentli elektronlari o'z atomlariga «qattiq», ya'ni kuchli bog'langan, ularni ajratib olib, bir tomonga yurgizish oson emas. Buning sabablari murakkab va bu yerda tushuntirib o'tirishga ehtiyoj yo'q. Ba'zan dielektrikni ham o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lishga majbur qilish mumkin. Masalan, katta bosim ta'sirida atomlar o'zaro yaqinlashadi va dielektrik metallga aylanib, o'tkazuvchan bo'lib qoladi.

Metallarda ham elektronlar to'la erkinlikka ega emas. Ular o'z harakati mobaynida atomlarning qoldiqlariga turtinadi va sochilib ketadilar. Bunda ishqalish yuz beradi va biz uni tok qarshilikka uchradi, deymiz (aslida qarshilikning tabiati ham ancha murakkab). O'ta o'tkazuvchanlik holatida esa qarshilik yo'qoladi, nolga teng bo'lib qoladi. Elektronlar harakati ishqalanishsiz ro'y beradi. Shu bilan birga bizning kundalik hayotimizda olgan tajribamiz bunday bo'lishi mumkin emas, deydi. Fiziklarning ko'p yillik tadqiqotlari bu qarama-qarshilikni hal qilishga qaratilgan edi.

Qarshilik

Metallning elektr qarshiligi uning o'lchamlari bilan bog'liq. Quyidagi formulada

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

R —qarshilik, o'lchov birligi Om ; s —metall parchasining tok o'tishi yo'nalishidagi ko'ndalang kesimi, mm^2 ; l —metall parchasining tok yo'nalishidagi uzunligi, m ; ρ —metallning solishtirma qarshiligi, $\text{Om}\cdot\text{m}$. Sof mis eng yaxshi tok o'tkazuvchilardan biri. Uning xona temperaturasidagi solishtirma qarshiligi $\rho = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{sm}$. Ba'zi metallar xona temperaturasida yomonroq o'tkazadi:

Aluminiy: $S = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{cm}$;

Qo'rg'oshin: $S = 21,1 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{cm}$;

Cimob: $S = 95,8 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{cm}$.

Taqqoslash uchun ba'zi dielektriklarning xona temperaturasidagi solishtirma qarshiliklarini keltiramiz:

Asbest: $S = 2 \cdot 10^5 \text{ Om}\cdot\text{cm}$;

Yantar: $S = 1 \cdot 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{cm}$.

Temperatura oshishi bilan atomlarning qoldirlari (ularni ba'zi elektronlari tark etgan) kuchliroq tebranishadi va elektr tokiga xalaqit berish kuchayadi.

ρ_0 — o'ta o'tkazuvchanlik holatidagi qoldiq qarshilik. Temperaturani absolut nolga yaqinlashtirsak namunaning qarshiligi ρ_0 ga intiladi. Qoldiq

qarshilik namuna tartibining tozaligiga bog'liq — unda turli aralashmalar va tuzilishining kamchiliklari — kovaklar bo'lishi mumkin. Ular qancha kam bo'lsa, P_0 ham shuncha kichik bo'ladi.

X. Kamerling—Onnes aynan simob bilan tajriba o'tkazishining boisi shundaki, u paytlarda oltin, kumush, platina kabi metallardan ko'ra simobni (haydash yo'li bilan) yuqori darajada tozalashga erishish mumkin edi.

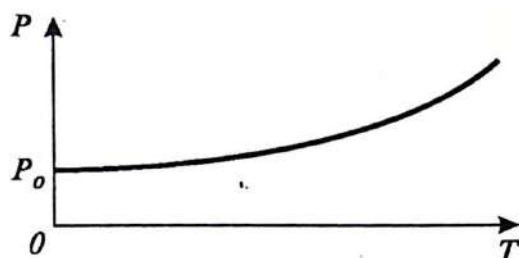
Kritik temperatura

Temperaturani pasaytirish jarayonida o'ta o'tkazuvchanlik sakrab hosil bo'ladi. O'ta o'tkazuvchanlik hosil bo'ladigan temperatura kritik temperatura T_s deyiladi. Tajribalarni sinchiklab o'rganish shuni ko'rsatdiki, bu o'tish kritik temperaturaning atrofidagi muayyan oraliqda ro'y beradi (53-rasm).

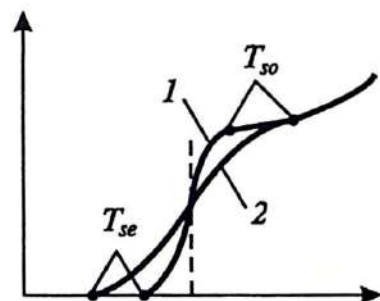
Qarshilik, harakatlanayotgan elektronlarning ishqalishi namunaning toza-kirrigidan qat'i-nazar yo'qoladi. Toza namunada u «tez» sakrab o'tadi, «kir» namunada sakrash ko'proq temperatura oralig'ini egallaydi. Sakrash oralig'i (T_{so} — T_{se}) eng toza namunalarda juda kichik gradusning yuzdan kichik ulushlariga teng. Kir namunalarda — o'nlab gradus.

Har xil moddalar uchun kritik temperatura har xil. 53-rasmda bir necha toza moddalarning kritik temperaturallari va ularda o'ta o'tkazuvchanlikning topilish yillari ko'rsatilgan.

1930-yilda tajribada niobiy moddasida kuzatilgan o'ta o'tkazuvchanlik holati yaqin



52-rasm. Metall qarshiligining temperaturaga bog'liqligi



53-rasm. Kritik temperatura:
1-chiziq — toza namuna uchun;
2-chiziq «kir» namuna uchun.

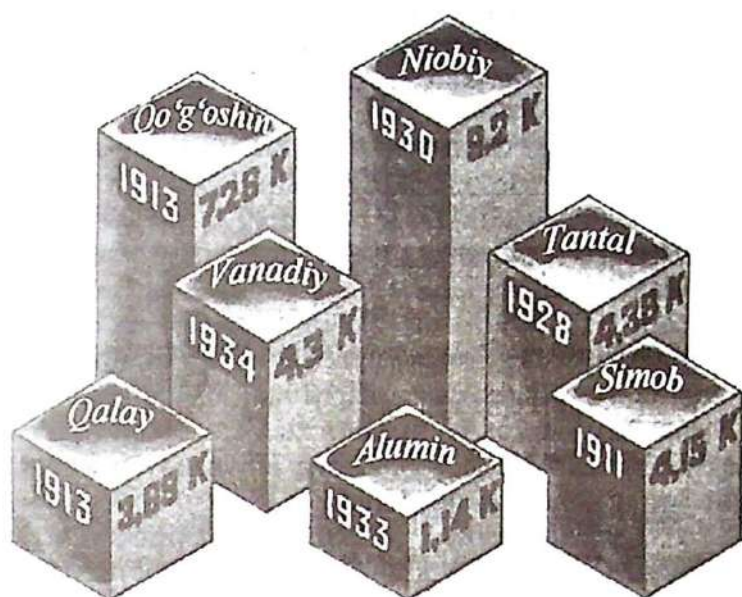
yillargacha eng yuqori temperaturali ($9,2^{\circ}\text{K}$) o'ta o'tkazuvchanlik deb hisoblanib kelindi. Nafaqat simob, qalay, qo'rg'oshin, balki qotishmalarning ham o'ta o'tkazuvchanligini Kamerning-Onnes ochgan.

Shu paytgacha o'ta o'tkazuvchanlikni biz past temperaturada qarshilikning yo'qligi deb keldik. Biroq, bu—juda murakkab, boshqa omillarga ham bog'liq hodisa. Eng muhim yana bir omil 1933-yilda nemislar V.Maysner va R.Oksenfelqdlar tomonidan kuzatilgan bo'lib, bu—o'ta o'tkazuvchanlikning magnit maydoniga bog'liqligidir. Uncha kuchli bo'lmagan o'zgarmas magnit maydoni o'ta o'tkazuvchan holatdagi moddaning tanasidan siqib chiqariladi. Uning ichida magnit maydoni nolgacha kamayadi. Ya'ni o'ta o'tkazuvchanlik va magnetizm bir-biriga zid xususiyatlar ekan.

Issiqlik kattaliklari ham o'ta o'tkazuvchan materialda o'ziga xos ahamiyatga ega. O'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tavergan sari moddalarning issiqlik sig'imi kamaya borib, kritik temperaturada sakrab 2—3 marta oshadi.

Boshida tushunish uchun foydalanib, elektronlarni ko'zadagi gaz deganimiz unchalik to'g'ri emas. Chunki ular zaryadga ega va o'zaro ta'sirlashadi. Gaz bilan qattiq jism o'rtasidagi holat—suyuqlik biz uchun aniqroq qo'l keladi. O'ta o'tkazuvchanlikni ikki xil elektronlar suyuqligining aralashmasi deb faraz qilish mumkin. Normal elektronlar suyuqligi—oddiy, o'tkazuvchan metallidagi elektronlarga o'xshash. O'ta o'tkazuvchan elektronlar suyuqligi — ishqalanishsiz oquvchan. Ikkala suyuqlik ham obdon aralashtirilgan. O'ta o'tkazuvchanda ikkala suyuqlik ham bor. Ularning ulushlari temperaturaga bog'liq. Temperatura pasayib, kritik qiymatga yetganda o'ta o'tkazuvchan elektronlar paydo bo'ladi. Temperatura absolut nolda hamma elektronlar o'ta o'tkazuvchan bo'ladi. Agar namunadagi magnit maydoni nolga teng bo'lmasa, o'ta o'tkazuvchanlikka o'tishda bu maydonni namuna tanasidan siqib chiqarish uchun energiya talab qilinadi. Talab qilinadigan energiyaning miqdori namuna tanasidagi magnit maydon ega bo'lgan energiyaga aynan teng. Agar maydon muayyan bir qiymatdan katta bo'lsa, temperaturani qancha kamaytirmaylik, o'ta o'tkazuvchanlik yuz bermaydi. Bu qiymat magnit maydonning kritik kuchlanganligi deyiladi (N_c). Kritik kuchlanganlik temperaturaga bog'liq va aksincha, kritik temperatura kuchlanganlikka bog'liq. Maydon kuchlanganligi kattaroq bo'lsa, kritik temperatura pastroq, maydon kuchlanganligi kamroq bo'lsa, kritik temperatura yuqoriroq bo'ladi. Bu bog'lanishni ko'rsatuvchi diagramma (54-rasm).

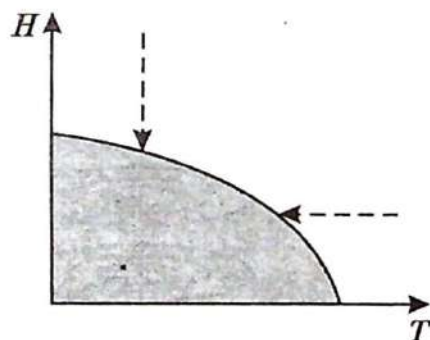
O'ta o'tkazuvchanlikka erishish uchun temperatura va magnit maydon kuchlanganligining qiymatlari bo'yalgan zonaga kirish kerak. Ya'ni, temperatura va maydon kuchlanganlikning qiymatlari shu zonadagi biror



54-rasm. Turli moddalarning kritik temperaturalari va ularning ochilgan yillari.

nuqtaga to'g'ri keladigan darajada past bo'lsagina o'ta o'tkazuvchanlik mavjud. 1960-yilda Dj. Kansler $T=4,2\text{K}$, $N=88000$ Ersted temperatura va maydon kuchlanganliklarida Nb_3Sn (niobiy-qalay)dan ishlangan sim orqali zichligi 100000 A/sm^2 bo'lgan tok o'tkazishga erishgan. Har bir material uchun o'z kritik N_c va T_c lari mavjud, (taqqoslash uchun: 1 A tokli oddiy sim 2 E maydon kuchlanganligi hosil qiladi).

Bu ikki kattalikdan tashqari o'ta o'tkazuvchanlikni chegaralab turuvchi yana bir kattalik bor. U—tok. Kritik tok. O'ta o'tkazgichlarning o'lchamlari cheklangan. Birlik yuzaga ega o'ta o'tgazgich o'z ko'ndalang kesimidan cheklangan zichlikdagi tokni o'tkazish imkoniyatiga ega. Bu kattalikni kritik zichlik deyilib, j_c bilan belgilanadi (A/sm^2). Agar biroz oldin muhokama qilganimiz tashqi magnit maydoni mavjud bo'lmasa ham, o'ta o'tkazgichdagi tok



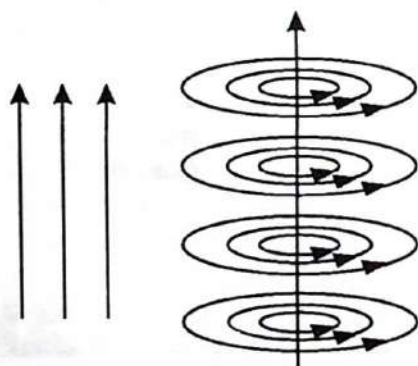
55-rasm. O'ta o'tkazuvchanlikka o'tish fazaviy (N - T) diagrammasi.

o'z magnit maydonini hosil qiladi. Bu xususiy maydon ham o'ta o'tkazuvchanlikni buzishga harakat qiladi. Kritik zichlikdagi tok yoki kritik tok shundayki, u kritik magnit maydon kuchlanganligi hosil qiladi va o'ta o'tkazuvchanlikni buzadi.

O'ta o'tkazgichlar ikki turga bo'linadi. Biz shu payitgacha 1-turini muhokama qilib keldik. 1-turning xususiyati shundaki, ular o'z tanasidan magnit maydonini siqib chiqaradi, uning qiymati kritik maydon kuchlanganligi N_k ga kamayib yetmaguncha unga qarshi ko'rashadi. N_k dan yuqori qiymatlarda normal holatga o'tadi. Oraliq holatda namuna (o'ta o'tkazgich) huddi bir necha sohalarga bo'linib, o'z tanasining ba'zi sohalariga magnit maydoni kirishga ruxsat beradi. Ya'ni, normal (magnit maydoni kirgan) va o'ta o'tkazuvchan (magnit maydoni kirmagan) sohalarga bo'linadi. Normal sohalardan N_k maydon kuchlanganligi «oqib» turadi, o'ta o'tkazuvchan sohalarda maydon nolga teng. Bunday, 1-tur o'tkazgichlarga simob, qalay, qo'rg'oshin kabilar kiradi.

2-tur o'ta o'tkazgichlar—asosan, qotishmalar. Toza moddalardan esa bu turga niobiy mansub. 2-tur o'ta o'tkazgichlar ham magnit maydonini siqib chiqaradi. Faqat juda kichik maydonni. Maydon kuchlanganligi oshishi bilan, 2-tur o'ta o'tkazgich bu maydonni o'ziga kiritish imkonini topadi va shu vaqtning o'zida o'ta o'tkazuvchanlikni saqlab qoladi. Bu holat kritikdan ancha kichik maydon kuchlanganligida yuz beradi: o'ta o'tkazgichda o'z-o'zidan uyurma toklar paydo bo'ladi. Tok uyurmaları o'tkazgich bo'ylab oqmasdan, o'tkazgich tanasida muayyan diametrli halqalarga o'xshab (10^{-7} sm) tartib bilan joylashadi, uyurmalar kanali hosil qiladi.

Bu kanal magnit oqimining bir qismini o'ziga yutib oladi. O'ta

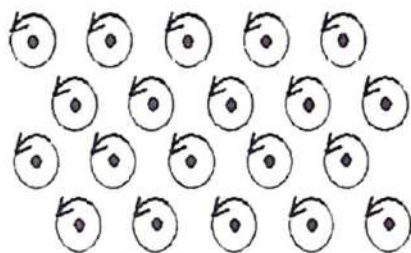


56-rasm. 2-tur o'ta-o'tkazuvchida uyurma toklar kanali. Kanal magnit maydonini o'ziga «yutib» olgan.

o'tkazgichda bu uyurmalar kanali tashqi magnit maydonga parallel joylashgan (56-rasm). Tashqi maydon bo'lmasa uyurmalar ham yo'q. Ular tanaga faqat yon sirtlar orqali kirish yoki chiqishlari mumkin. Bu kirish va chiqish jarayonida ular o'zlari bilan tashqi maydon oqimini o'z ichiga olib kirib ketishi yoki olib chiqishi mumkin. Agar tashqi magnit maydon kuchlanganligini oshirsak uyurmaning o'lchamlari o'zgarmaydi, u olib

kiradigan magnit oqimi ko'paymaydi balki, oddiygina, uyurmalarining soni ko'payadi, oralaridagi masofa kamayadi. Magnit maydoni yo'nalishida qaralsa (ya'ni uyurmaning tubidan), uyurmalar o'zaro uchburchak tartibda joylashganligi mikroskopda kuzatilgan (57-rasm). Yangi, pastki kritik magnit maydoni kuchlanganligi N_{s1} , deb atalgan qiymatda o'ta o'tkazgich tanasida birinchi uyurmalar paydo bo'ladi. Maydonni yanada kuchaytirishda davom etilsa, uyurmalar soni oshaveradi. Ular orasidagi masofa kamayaveradi.

Agar maydon kuchaytirilaversa, uyurmalar bir-biriga shunchalik yaqinlashadiki, ular birlashib, o'zaro quyulib ketadi. Bunda o'ta o'tkazgich normal o'tkazgich holatiga qaytadi, o'ta o'tkazuvchanlik yo'qoladi. O'ta o'tkazuvchanlikning buzilishiga olib keluvchi magnit maydon kuchlanganligi yuqori kritik kuchlangani H_{c2} deyiladi. Mana shunday qilib, 2-tur o'ta o'tkazgich magnit maydoni va o'ta o'tkazuvchanlikni bir biri bilan «yarashtirish» ga, «kelishtirish» ga intiladi. 2-tur o'ta o'tkazgichda uyurmadan tashqarida (biroq namuna tanasida) magnit maydoni yo'q.



57-rasm. Uyurma toklarning o'ta o'tkazuvchan tanasidagi uchburchaksimon joylashuvi. Maydon kuch chiziqlari bizga tomon uyurma markazidan o'tib kelmoqda (nuqtalar).

O'ta o'tkazuvchanlikni dahldor eng muhim omillarni ko'rib chiqdik. Ulardan tashqari atomlar kristall panjarasining tuzilishi, uning tebranishi, modda tarkibidagi begona moddalar, tarkibdagi nuqsonlar va boshqa ko'p va murakkab omillar haqida alohida to'xtalmadik. Chuqur nazariy va matematik mulohazalar ushbu kitob doirasiga kirmaydi.

O'ta o'tkazuvchanlikka hayotdan misol olinadigan bo'lsa, baletni ko'rsatish mumkin, spektakil boshlanishi oldidan artistlar sahnada yurishibdi. Har kim o'zicha, biror tartibli harakati yo'q. Bu— o'tkazgichning normal holatiga mos. Bu ham normal holatda o'tkazgichdagi tokka misol. Endi sahnada spektakl boshlandi, deb faraz qiling. Murakkab va nozik harakatlar barcha artistlarda bir xil va juda yuqori san'at bilan bajarilmoqda. Qatorda yurgan soldatlar yoki tartibsiz harakatdagi artistlarga qaragandan ko'ra baletni tomosha qilish minglab karra zavq berishini normal o'tkazuvchanlikdagi va o'ta o'tkazuvchanlikdagi toklar bilan qiyoslash mumkin.

7.2. O'ta o'tkazgichlarning qo'llanilishi

Simlardan elektr tokini uzatishida isroflar aynan qarshiliklarda ro'y beradi. Qarshiligi yo'q simlardan foydalanish qanchalik foydali ekanligi ravshan. Hozirda ishlab chiqarilayotgan energiyaning 10 %i simlarda isrof bo'lmoqda. Bu juda katta energiya—har 10 ta elektrostansiyaning biri isroflarni qoplashga ishlamoqda. Bu muammoni hal qilishda o'ta o'tkazgichlar qo'l keladi. Biroq, ularni tayyorlash juda qiyin, qimmat va murakkab masala.

O'ta o'tkazuvchanlikni hosil qiluvchi past temperaturani murakkab jihozlar yordamida hosil qilinadigan suyuq geliy ta'minlaydi. Suyuq geliyni suyuq holda ushlab turish uchun unda hosil bo'layotgan issiqlikni ko'p miqdordagi suyuq azot vositasida tashqariga uzatib turish kerak. Ularni tashqi issiq muhitdan izolatsiyalash kerak. Suyuq geliy kamyob va qimmat. Apparatura va uni ishlatish uchun odamlar yuqori texnologiyalarga mansub bo'lishi talab qilinadi. Shuning uchun o'ta o'tkazgichlarning kritik temperaturasini ko'tarish juda muhim masala. Yuqori kritik temperaturali (masalan, -200°C va undan yuqori) o'ta o'tkazgichlar yaratish texnologiyasi yo'lga qo'yilsa, bu temperaturani ta'minlash uchun arzon va mo'l suyuq azotdan foydalanish mumkin. Hozircha faqat ixcham texnologik jihozlardagina suyuq geliy bilan sovitiladigan o'ta o'tkazgichlar qo'llanilmoqda.

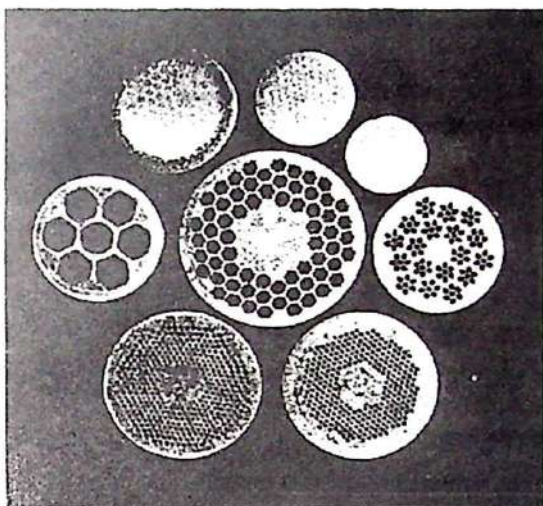
Magnitlar

Doimiy magnitlar bizga tanish. Ularning maydon kuchlanganligi uncha yuqori emas. Kuchli magnit oqimlarini elektromagnitlar (po'lat yoki boshqa, magnit oqimini yaxshi o'tkazuvchi o'zakli katta chulg'am)lar bilan hosil qilinadi. Katta maydon kuchlanganligiga chulg'amning o'ramlar soni va (yoki) tokini oshirib erishish mumkin. Tok oshgan sari sim qiziydi. Uni suv bilan sovitib bir necha ming Ersted kuchlanganlik olish mumkin. O'n minglab Ersted kuchlanganlik olish uchun o'ta o'tkazgichlardan foydalanmasdan boshqa iloji yo'q.

O'ta o'tkazgichli magnitlar yaratishda dastlab 1-tur o'ta o'tkazgichlardan foydalanishga harakat qilindi. Ularning past kritik magnit maydon kuchlanganliklari (N_c) bu yerda asosiy to'siq bo'lib qoldi. 2-tur o'ta o'tkazuvchanlik ochilgandan so'ng kuchli magnitlar yaratishga amaliy va samarali urinishlar boshlandi. Bunda muammo o'ta o'tkazgichning ba'zi uchastkalarida normal o'tkazgich (qarshilik) paydo bo'lib qolishi hodisasi, yani o'ta o'tkazgichning turg'unligi muammosi katta to'siq bo'ldi. Uni turli usullar bilan oshib o'tishga erishilmoqda.

O'ta o'tkazuvchan simlar

Zamonaviy o'ta o'tkazuvchan simlar 2-tur o'tkazuvchanlikka asoslangan. Niobiy (NB) va titan (Ti) qotishmasidan qilingan simlar eng ko'p qo'llanilib kelinmoqda edi. Bu simlarning sanoat namunalari (ko'ndalang kesimi) 58-rasmda ko'rsatilgan.



58-rasm. Niobiy (Ni) titan (Ti) qotishmasidan qilingan o'ta o'tkazuvchan simlarning ko'ndalang kesimlari. (Teshiklardan suyuq geliy oqadi.)

Yaxshiroq elektr xarakteristikalari Ni_3Sn (niobiy-qalay) birikmasiga taalluqli. U 100 ming Erstedgacha magnit maydon kuch-langanligiga ham chidamli. Shu vaqtning o'zida 1000 A/mm^2 tok zichligi bunday o'ta o'tkazgich simda oqib turishi mumkin. Undagi simimiz $1-2 \text{ A/mm}^2$ tok zichligiga mo'ljallangan. Niobiy-qalaydan sim yasash qiyin, buning ustiga u juda mo'rt—ishlatish davomida sinishi, parchalanishi mumkin.

O'ta o'tkazgich sim diametri 0,1mm ancha kichik. Tayyor o'ta o'tkazgich sim o'n minglab tolalardan tashkil topgan. Toklar mis matritsa(qolip)dajoylashtriladi vasim o'qi atrofidaeshilib chiqadi.Mis bilan qoplangan bo'lishi kerak. Bu simlar yana o'ziga o'xshaganlari bilan eshilib yanada yuqorirog'i hosil qilinada. Mis qoplamning vazifasi — o'ta o'tkazgichning biror uchastkasi o'z xususiyatini yo'qotib, normal, ya'ni qarshilikli o'tkazgichga aylanib qolsa, simning katta tok o'z yo'lini o'sha mis qoplami orqali davom ettirib turadi.

O'ta o'tkazgich simlarni bor bo'yicha nafaqat ichidan, tanasidan, balki tashqarisidan suyuq geliy bilan qo'shinncha sovitib turish kerak. Buning uchun mis matritsada suyuq geliy oqadigan maxsus kanallar qilinadi. Bir kilogramm o'ta o'tkazgich shu miqdordagi misdan minglab marta qimmat, lekin u o'tkazadigan ulkan tokni hisobga olsak — arzon chiqadi.

7.3. O'ta o'tkazgichli magnitlarning qo'llanilishi

Kuchli magnit maydonlar hozirgi kunda termoyadro elektrostansiyalarida termoyadro sintezida hosil bo'lgan 100 minglab gradusli plazmani muallaq holatda ushalab turish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarda eng ko'p ishlatilmoqda. Bu ishlar 40–50 yil oldin boshlangan. Lekin termoyadro reaktorini yaratish bo'yicha real loyihalarni endilikda amalga oshirishga kirishildi. O'ta qimmat bu stansiya butun dunyoning yetakchi 14 davlati to'plagan ilmiy-texnikaviy natijalar, loyihalar, eng muhimi—mablag'i hisobiga g'arbiy Yevropaning okeanga tutash biror mamlakatiga qurilishi rejalashtirilgan. Qurilish 15–20-yil davom etishi kutilmoqda. Loyihaning asosiy g'oyasi, konstruktiv yechimlari Rossiyaga tegishli. Uning nomi—Tokamak-15. (Торондальная магнитная катушка). Tor (teshik kulcha, bublik)simon trubaning tashqi diametri 15, 25 m bo'lib, barcha kanstruksiya suyuq geliy ichida joylashishi ko'zda tutladi.

Eng zamonaviy diagnostika apparatlarida YaMR-tomograflarida o'ta o'tkazuvchanlik yordamida hosil qilgan magnitlar qo'llaniladi. (YaMR—yadroviy magnit rezonansi). Bu shunday meditsina asbobiki, u ba'zi atomlar (m: vodorod atomi)ning kuchsiz magnit maydoniga rezonans tebranishlar bilan «javob» berishiga asoslangan. Rezonans chasotasi magnit maydoni kuchlanganligiga proporsional. Kompyuter yordamida inson organizmidagi yadrolarning tashqi magnit maydoniga javobini tahlil qilib, orgnizmning qatlam va qatlam tasvirini olish mumkin. Boshqa, masalan, ultratovush introskoplari vositasida bunday natijaga erishishning iloji yo'q edi. YaMR—tomograf silindrning ichidagi o'ta o'tkazuvchan magnit 15–20 ming Ersted maydon kuchlanganligi hosil qiladi. Yaxshi tasvir olish uchun maydon bir jinsligi 0,1 %dan yomon bo'lmasligi kerak.

Rentgenoskopiyadan YaMR—tomografiya nafaqat samarali, balki havfsiz hamdir. YaMR — tomografiya g'oyasi 1971-yilda paydo bo'lib, jahon buyicha 1985-yilda 300 ta, 1988-yilda 2000 dan ortiq sanoat namunasi yaratildi. Shu kunlarda Respublikamiz viloyatlari markazlaridagi salohiyatli meditsina tashkilotlari ham YaMR—tomograflari bilan ta'minlanmoqda.

7.4. Djozefson effektlari

Bu effekt ikki o'ta o'tkazgichning o'zaro kontaktida paydo bo'ladi. Effektni 1962-yilda ingliz olimi B. Djozefson ochgan.

Ikki bo'lak o'ta o'tkazgich olamiz. Ulardagi elektronlar harakati bir-biriga bog'liq emas (har bo'lak—o'zicha) bu bo'laklarni yaqinlashtiramiz va bitta butunga aylantiramiz. Endi barcha elektron juftlarning harakati o'zaro bog'liq. Kontaktning holati, sifati nafaqat kontaktning yaqinlaridagi, balki, barcha elektronlarga ta'sir qiladi. Ikki bo'lak mutlaqo bir-biriga aloqasi yo'q holatidan ularning to'la birligi, yaxlitligiga o'tish qachon va qanday ro'y beradi?

O'ta o'tkazuvchan elektronlar qanchadir uzunlik masshtabi ξ bilan karakterlanadi. O'ta o'tkazuvchan elektronlarning miqdori o'tkazgichning bir qismidan ikkinchi qismiga sakrab o'zgarmaydi. Bu—o'ta o'tkazgichning chegarasi o'ta o'tkazuvchanlik holatini keskin cheklay olmaydi, degani. Haqiqatan, bu ta'sir chegaradan ξ uzunlikkacha davom etar ekan. Agar o'ta o'tkazgichga yupqa metall plyonka yotqizsak (qalinligi ξ dan kichik), unda bu plyonka ham o'ta o'tkazuvchan xususiyatlariga ega bo'lib qolar ekan. Bu hodisa yaqinlik effekti, Djozefson effekti deyiladi.

Djozefson effekti ikki bo'lak o'ta o'tkazgich orasiga yupqa metall yoki dielektrik plyonka qo'yilganda yuz beradi. Plyonkaning qalinligi shundayki, bo'laklar bir-birining o'ta o'tkazuvchanligini «sezishadi». Biroq ular bir biridan plyonka bilan ajralib ham turishadi. Plyonka orqali o'zaro ta'sir natijasida mavjud bo'lgan o'ta o'tkazuvchanlik kuchsiz deyiladi. Har bir o'ta o'tkazgichda elektron juftlar bir fazada harakatlanadi. Fazalar chegara bilan ajratilgan bo'laklarda bir hil emas. Bu farq elektronlarning kontakt orqali o'tishi bilan bog'liq (ta'minlangan). Aynan bo'laklardagi elektron to'lqinlar fazalaridagi farq ahamiyatga ega.

Statsionar Djozefson effekti—kontakt orqali o'z-o'zidan, qandaydir kuchlanishsiz tok oqishidir. Bu tok ikki bo'lak o'ta o'tkazgichda elektron juftlar to'lqinlari orasidagi fazalar farqi bilan yaratilgan. Bu tok—kichik, lekin, o'lchasa bo'ladigan darajada-milliamperlar.

Kontaktga o'zgarmas U kuchlanish berilsa, nostatsionar Djozefson effekti yuz beradi. Unda kontakt aktiv qarshilik namoyon qiladi va u orqali o'zgaruvchan tok oqadi. Odatdagi Om qonunidan farqli ravishda U kuchlanish plyonka orqali o'tayotgan tokni emas uning chastotasini belgilaydi. Millivoltlar tartibidagi kuchlanishlarda chastota yuzlab va minglab gegagersni tashkil qiladi. Djozefson kontakti nafaqat o'zgarmas kuchlanishni o'zgaruvchanga aylantiradi, balki tebranish konturi kabi elektromagnit to'lqinlar chiqaradi. Bu to'lqinlar o'ta yuqori chastotaga ega.

O'ziga xos bu hodisa ham amalda keng qo'llanilmoqda. O'ta sezgir va aniq magnit maydon kuchlanganligini o'lgachlar, inson organizmini tegmasdan, ishonchli tekshiruvchi asboblari, sezgir voltmترلar, past temperaturali (10^{-5} – 10^1 K) termometrlar, Voltning yangi, aniq etaloni kabilar yaratildi.

7.5. Krio o'tkazgichlar

O'ta o'tkazuvchanlikdan tashqari elektrotexnikada krio o'tkazuvchanlik hodisasi ham keng qo'llanilmoqda. Kriogen (past, minus 100–200 °C) temperaturalarda ba'zi metallar ancha kichik, lekin o'ta o'tkazuvchanlikdan katta, qarshilikka ega bo'ladi. Ular krio o'tkazgichlar deyiladi. Bu hodisani mohiyati o'ta o'tkazuvchanlikka o'xshash, biroq farqli holatlari ham ko'p. Eng muhimi, krio o'tkazuvchanlik normal past temperaturadagi o'tkazuvchanlikning xususiy xoli.

Ancha kichik, lekin bari, cheklangan qarshiligi krio o'tkazgichdagi ruxsat etilgan tok zichligini keskin oshirishga imkon bermaydi. Shunga qaramasdan, bu zichlik xona va baland temperaturalardagi zichlikka nisbatan ancha katta. Ularda temperaturaning keng oraliqda o'zgarishida qarshilikning ohista o'zgarishi kuzatiladi. O'ta o'tkazgichlarda esa trigger effekti, ya'ni muayyan va kichik temperaturaviy oraliqda qarshilikning sakrab o'zgarishi mavjud. Krio o'tkazgichlarda Maysner effekti ham kuzatilmaydi.

O'ta o'tkazgichlar o'miga krio o'tkazgichlarni qo'llash o'z afzalliklariga ega. Elektr mashinalari, transformatorlar va apparatlarda uni qo'llab, sovutgich sifatida suyuq vodorod, suyuq azot ishlatish mumkin. Bunda o'ta o'tkazgichda ishlatiladigan suyuq geliy va kuchli issiqlik izolatsiyasiga sarflanadigan katta harajatlardan qutilish mumkin.

Krio o'tkazgichlar sifatida aluminiy, mis yoki qimmatbaho berilliydan foydalaniladi 19-jadval.

Ularning Krio o'tkazgichlik xususiyatlari quyidagicha

19-jadval

Solishtirma qarsholigi, M OMM ⁻¹	Mis	Aluminiy	Berilliy
Ishchi kriotemperatura, K	0,03	0,04	0,3
	21 (suyuq vodorod)	21 (suyuq vodorod)	78 (suyuq azot)

Har qanday holda krio o'tkazgich o'ta toza tarkibga ega bo'lishi talab qilinadi.

VIII bob. KAVSHARLAR, FLUSLAR VA YELIMLAR

8.1. Kavsharlar va fluslar

Kavsharlar metall qismlarni kavsharlashda bog'lovchi moddalar sifatida ishlatiladigan toza metallar yoki qotishmalardir. Har qanday kavsharni shunday tanlab olish kerakki, uning suyuqlanish temperaturasi shu kavshar bilan biriktiriladigan metall qismlarning suyuqlanish temperaturasidan ancha past bo'lishi lozim.

Kavsharlar oson suyuqlanadigan va qiyin suyuqlanadigan kavsharlarga bo'linadi.

Oson suyuqlanadigan, ya'ni yumshoq kavsharlarning suyuqlanish temperaturasi 500°C dan past, qiyin suyuqlanadigan, ya'ni qattiqlariniki esa 500°C dan yuqori bo'ladi.

Kavsharlarning markalarida harf va raqamlar quyidagilarni, ya'ni birinchi o'rinda turgan P harfi kavshar (priпой)ni, undan keyingi harflar esa O—qalay, Su—surma, S—qo'rg'oshin, A—aluminium, Sr—kumush, M—mis, Kr—kremniy, Vi—vismut, Zl—oltin, K—kadmiyini bildiradi. Harflardan keyin keladigan raqamlar asosiy metall massasining kavshardagi protsent miqdorini ko'rsatadi. Masalan, POS—90; qalay-qo'rg'oshinli kavshar, tarkibida massa jihatdan 90 % qalay bor; POSK—50—18 tarkibida 50 % qalay, 18 % kadmiy bor, qolganini esa qo'rg'oshin tashkil etadi.

Qalay-qo'rg'oshinli kavsharlar eng ko'p ishlatiladi. Ular juda suyuq-oquvchan bo'ladi va eng tor choklarga ham yaxshi kirib boradi, ko'pchilik metallar, mis, latun, po'latlar, rux bilan yaxshi birikadi va anchagina puxta kavshar choklar hosil qiladi. Tarkibidagi qalayning miqdori 15 %dan kam bo'lgan kavsharlar katta mexanikaviy puxtalik talab qilinmaydigan detallarni kavsharlash uchun ishlatiladi. Tarkibida vismut miqdori ko'p (50—57%) bo'lgan qalay-qo'rg'oshinli kavsharlarning suyuqlanish temperaturasi eng past (79—95°C), lekin ular bilan kavsharlangan choklar mo'rt bo'ladi.

Qiyin suyuqlanadigan kavsharlar jumlasiga mis-ruxli (PMS-54, PMS-48 va boshqalar) va mis-kumushli qotishmalar (PSr-72, PSr-70, PSr-50 va boshqalar), shuningdek, aluminiumning mis, rux va kremniy bilan hosil qilgan qotishmalari kiradi. Mis-kumushli kavsharlar eng ko'p ishlatiladi. Ular solishtirma elektr qarshiligi kichikligi bilan ajralib turadi va shu sababli

qora va rangli metallardan yasalgan tok o'tkazuvchi qismlarni kavsharlash uchun keng ko'lamda ishlatiladi; bu metallarga shu kavshar yaxshi yopishadi. Bunda mexanikaviy puxta va korroziya bardosh kavshar choklar hosil bo'ladi.

Aluminiy asosida mis, kremniy va qalay qo'shib tayyorlangan kavsharlarning mexanikaviy mustahkamligi katta va atmosfera korroziyasiga chidamli bo'ladi. Bu kavsharlar aluminiy simlarni va aluminiydan hamda ularning qotishmalaridan yasalgani detallarni kavsharlash uchun ishlatiladi.

Mis-ruxli kavsharlar mo'rt bo'ladi va vibratsiya hamda zarbiy yuklamalarga chidamli emas, choklarning elektr qarshiligi juda kichik bo'ladi. Bu kavsharlar mis, latun, bronza va po'latlardan yasalgan detallarni kavsharlash uchun ishlatiladi.

Kavsharlash uchun kavshardan tashqari fluslovchi moddalar—fluslar ham kerak bo'ladi. Fluslarning vazifasi kavsharlanadigan metallar sirtini oksidlar va boshqa iflosliklardan tozalash hamda kavsharlash paytida kavsharlanayotgan metallar sirtini oksidlanishdan saqlashdan iborat.

Fluslar qattiq kukunsion moddalar (bura, borat kislotasi, kanifol va boshqalar) yoki suyuqliklar (rux xloridning suvdagi eritmasi, kanifolning spirtidagi eritmasi va boshqalar) bo'lishi mumkin. Ba'zan yarim suyuq fluslar—pastalar ishlatiladi.

Oson suyuqlanadigan qo'rg'oshin asosli kavsharlar bilan mis, latun va bronzalarni kavsharlashda choklarni korroziyalantirmaydigan fluslar ishlatiladi. Bunday fluslar jumlasiga kanifol, kanifolning etil spirtidagi eritmasi va kanifol asosida olingan boshqa tarkiblar kiradi. Kanifol aktivligi kam bo'lgan flus hisoblanadi, shu sababli kanifolli flus surtishdan oldin kavsharlanadigan metallarning sirtini yaxshilab tozalash lozim.

Qiyin suyuqlanadigan (qattiq), ya'ni 500°C dan yuqori temperaturada suyuqlanadigan kavsharlar bilan kavsharlashda kanifol va yuqori temperaturada parchalanadigan boshqa fluslarni ishlatib bo'lmaydi. Po'lat, mis va mis qotishmalarini (latun, bronza va boshqalarni) yuqori temperaturada kavsharlashda flus sifatida, ko'pincha, bura $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ yoki uning borat kislotasi H_3BO_3 va boshqa tuzlar bilan aralashmasidan foydalaniladi. Havoda oson oksidlanadigan aluminiyning kavsharlash uchun aluminiyidagi zich oksidlar pardasini erita oladigan juda aktiv fluslar ishlatiladi. Bunday fluslar jumlasiga litiy xlorid, natriy fluorid, rux xlorid va kaliy xloriddan iborat tarkib kiradi. Fluslar tanlashda doimo quyidagilarga e'tibor berish kerak: qattiq flusning suyuqlanish temperaturasi kavsharning suyuqlanish temperaturasidan, kavsharlash temperaturasi esa flusning termik parchalanish temperaturasidan past bo'lishi lozim. Qattiq kavsharlar bilan kavsharlanganda choklar korroziyalanishining oldini olish uchun choklarni cho'tka yordamida qaynoq suv bilan yuvib, flus qoldiqlarini yo'qotish kerak.

8.2. Yelimlar va bog'lovchi tarkiblar

Yelimlar va bog'lovchi tarkiblar elektr apparatlar, asboblari va elektr uskunalarning boshqa turlarini ishlab chiqarishda keng ishlatiladi. Yelimlar va bog'lovchi tarkiblardan elektr izolatsion xossalarning yaxshi bo'lishi hamma vaqt ham talab etilmaydi. Bu materiallar, avvalo, yelimlash—metall va metallmas materiallarga yopishish (adgeziya) xossasiga ega bo'lishi kerak.

Biror ikki materialning bir-biriga yopishishi yelim pardasining yopishtiriladigan materiallar sirti bilan birikib qolishi natijasida sodir bo'ladi. Yelim pardasida sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiyalar natijasida yelim yopishtiriladigan qismlarni bir-biriga mustahkam biriktiruvchi qattiq moddaga aylanadi. Yelim pardasining yopishtiriladigan material sirti bilan birikib qolishiga kimyoviy reaksiyalargina emas, balki yelim pardasi bilan yopishtiriladigan materiallarning sirti orasida molekulalararo va elektrostatik kuchlarning vujudga kelishi ham sabab bo'ladi.

Yelim chokning taxtaligiga yelim pardasining qalinligi va yaxlitligi, uning yelimlangandan keyingi hajmiy qisqarishi, o'zaro yopishtiriladigan materiallarning tarkibi va strukturasi, shuningdek, yopishtiriladigan sirtlarning qay darajada tayyorlanganligi ta'sir etadi. Yelim pardasi juda ham qalin bo'lmasligi kerak, lekin u yopishtiriladigan yuzaning hammasida uzluksiz yelim qatlami hosil qilishi lozim. Optimal qalinlikdagi yaxlit yelim parda hosil qilish va yopishtiriladigan sirtlarning g'ovaklariga yelim kirib borishi uchun bu sirtlarni oldindan bir-biriga mos keltirish va erituvchilar yordamida iflosliklardan yaxshilab tozalash kerak. Yaxshi yopishishi uchun ko'pchilik materiallarga (metallar, plastmassalarga) oldindan yopishtiriladigan sirtlarida g'adir-budurlik hosil qilish maqsadida qum oqimi yoki jilvir qog'oz bilan ishlov beriladi. Buning natijasida yelim surtilgan chokning mustahkamligi ortadi. Yelim chok mustahkam bo'lishi uchun yopishtiriladigan detallarni bir-biriga ma'lum bosim ostida bosish lozim. Juda ko'p yelimlar 90—180°C va undan yuqori temperaturada qizdirilganligina qotadi.

Yelimlar moddalarning katta gruppasini tashkil etadi. Elektrotexnika sanoatida yopishtirish xususiyati eng kuchli bo'lgan sintetik smolalar asosida olingan yelimlar ishlatiladi. Bu yelimlarning ko'pchiligi yaxshi elektroizolatsion xossalarga ega, Bunday yelimlar jumlasiga qatlamli sluda, izolatsiya ishlab chiqarishda sluda yaproqlarini yelimlab yopishtirish uchun keng ko'lamda ishlatiladigan gliftalli yopishtiruvchi loklar kiradi. Qatlamli elektroizolatsion plastmassalari (getinaks, tekstolit va boshqalar) ishlab chiqarishda keng ko'lamda ishlatiladigan bakelitli loklar ham ana shunday yelimlar qatoriga kiradi.

Butvarfenol smolalarning spirtidagi eritmalari bo'lgan BF yelimlari ko'p ishlatilmoqda. Bu yelimlar uch xil BF-2, BF-4 va BF-6 markada chiqariladi. Ular bir-biridan tarkibi jihatdan farq qiladi va o'ziga xos xususiyatlari bo'ladi, shu sababli turli sohalarda ishlatiladi. Masalan, BF-2 va BF-4 yelimlari metallar, plastmassalar, shisha, keramika, sluda va yog'ochni yelimlab yopishtirish uchun ishlatiladi. BF-4 yelimi bilan yelimlangan chok vibratsiyaga juda chidamli bo'ladi. BF-6 yelimi elastik chok hosil qiladi, shu sababli rezina va gazlamalarni bir-biriga yelimlab yopishtirish pa ularni metallar hamda plastmassalarga yopishtirish uchun tavsiya etiladi.

BF yelimi har qaysi yopishtiriladigan sirtga ikki uch qatlam qilib surtiladi. Har qaysi qatlamning xona temperaturasida qurish vaqti 1 soatni tashkil etadi, shundan so'ng keyingi yelim qatlami surtiladi va u ham 1 soat davomida quritiladi. So'ngra yopishtiriladigan detallar bir-biriga biriktiriladi va salgina ishqalanadi. Shundan keyin ular $(4-12) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosim hosil qiluvchi press yoki strubsina ostiga kuyiladi.

BF-2 va BF-4 yelimi 0,5—3 soat davomida 140—150 °C temperaturada, BF-6 esa 90—100 °C temperaturada qotadi. Qizdirish vaqtini ko'paytirish yelim chokning puxtaligini oshiradi. Yelim chokni yuqori temperaturalarda tutib turish uchun yopishtiriladigan detallar termostatga joylanadi yoki plitalari isitiladigan press ishlatiladi. Biriktiriladigan detallarni presslashda hosil bo'ladigan yelim oqmalari shpatel (metall ko'rakcha) yoki latta bilan olib tashlanadi.

BF yelimlari hosil qilgan choklar suv, mineral moylar, kerosin, benzin va ko'pchilik spirtlar ta'siriga chidamli bo'ladi. Ular metallarni korroziyalantirmaydi va —60 dan + 80 °C gacha temperaturalar oralig'ida ishlashi mumkin.

Suyuq va qattiq epoksid smolalar asosida olingan yelimlar keng ko'lamda ishlatilmoqda. Ma'lumki, epoksid smolalar metallarga, plastmassalarga, shisha, keramika va boshqa materiallarga nisbatan adgeziyasi kattaligi bilan ajralib turadi. Bundan tashqari, epoksid smola va yelimlarning qotgandagi hajmiy qisqarishi kam bo'ladi, bu esa yelim chokning mustahkamligini oshiradi. Epoksid yelimlar 20 °C va undan yuqori temperaturalarda: 120—170 °C da qotadi * (issiqda qotadigan yelimlar). Epoksid suyuq; smolalardan havoni chiqarib yuborish uchun ularga 50—70 °C da vakuumda ishlov berish, so'ngra esa qotirgichlar bilan aralashtirish kerak. Epoksid yelimlardan ED-15 va ED-16 smolalar asosida olingan yelimlar keng ko'lamda ishlatiladi, ular suyuq qiyomsimon massalar bo'lib, bu massalarga 15—20 % qotirgich — polietilenpoliamin qo'shiladi. Boshlang'ich komponentlar yaxshilab aralashtiriladi. Tayyorlangan yelim 2—6 soat davomida ishlatishga yaroqli

bo'ladi, bu vaqt o'tgandan keyin tez quyuqlasha boshlaydi va asta-sekin qattiq moddaga aylanadi. Shu sababli qotirgichni (polietilenpoliaminni) smolaga yelimni bevosita ishlatishdan oldin qo'shish kerak. Oldindan tayyorlangan va tozalangan sirtlarga bir qavat yelim surtiladi, so'ngra havoda 15—30 minut davomida quritiladi. Shundan keyin yopishtiriladigan sirtlar bir-biriga birlashtiriladi va $(1-2) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosim bilan bosiladi.

Yelim chok 20°C da 18 soat davomida qotadi. Yelim chok ancha mustahkam bo'lishi uchun uni 100°C da yana 4 soat tutib turish kerak.

Agzr ED-15 yoki ED-16 smolaga boshqa qotirgich — malein anhidrid (30 %) qo'shilsa, qaynoq holda qotadigan yelim olinadi. Bu holda yelim chok 120°C da 16—24 soat davomida qotadi.

Ko'pincha, yelim chokni qotirishning bosqichli rejimi qo'llaniladi: 120°C da 6—8 soat, so'ngra 150°C da 4—6 soat davomida qotiriladi. Yelim choklarni qotirishning ikkala bosqichida ham birlashtiriladigan sirtlar $(0,5-3) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosim ostida bo'lishi kerak.

Issiqbardoshligini oshirish va yelim choklardagi qoldiq kuchlanishni kamaytirish maqsadida yelimlarga to'ldirgichlar: changsimon kvarts, sement va metall (kumush, mis va boshqalar) kukunlari qo'shiladi. Bu kukunlar o'tkazuvchanligi katta bo'lgan yelim choklar olishga imkon beradi. Bu — elektr apparatlar va asboblarning metallardan yasalgan tok o'tkazuvchi detallarini yelimlab yopishtirishda zarur.

Yelimlarning asosiy xarakteristikasi (ularni ishlatishdan oldingi) qovushqoqligi bo'lib, uning qiymati texnologik instruksiyada ko'rsatilgan qiymatlarga yetkaziladi. Buning uchun yelim aralashmasini isitish, yelimning qovushqoqligini esa viskozimetrlar yordamida qat'iy nazorat qilib turish kerak bo'ladi.

Epoksid yelimlar kukun yoki chiviqlar ko'rinishida bo'lishi mumkin. Yopishtiriladigan metall yoki plastmassa detallarning oldindan qizdirilgan ($100-120^\circ\text{C}$) sirtlariga kukunsimon yelim yupqa qatlam qilib sepiladi. Chiviqli holdagi yelim ishlatilganda esa yopishtiriladigan qismlarning qizdirilgan sirtlariga shu chiviqli surtiladi. Yopishtirish texnologiyasining boshqa ishlari suyuqlik epoksid yelimlar uchun oldin bayon qilingan usullardan farq qilmaydi. Yelim choklar $(0,5-0,3) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ bosim va $120-200^\circ\text{C}$ temperaturalarda tegishli 10 dan 0,5 soatgacha vaqt oralig'ida qotadi. Epoksid yelim choklar — 60 dan $+100^\circ\text{C}$ gacha temperaturalar oralig'ida ishlashi mumkin. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, qotgan epoksid yelim choklar va BF yelimlari yaxshi elektrik xarakteristikalariga ega bo'ladi: $s_v = 10^{13}-10^{15} \text{ Om}\cdot\text{sm}$; $E_m = 10-15 \text{ MV/m}$.

Elektrotexnika sanoatida va montaj ishlarida yelimlardan tashqari bog'lovchi tarkiblar (bog'lovchilar) ham ko'p ishlatiladi. Ular xamirsimon

oquvchan massalar bo'lib, vaqt o'tishi bilan qotadi. Yelimlardan farqli ravishda, bu tarkiblar yopishtirish uchun emas, balki metall armaturani izolatorlarga, masalan, flanelarni o'tkazuvchi va tayanch izolatorlarga mahkamlash, osma izolatorlarga cho'yan qalpoqlarni o'rnatish, shuningdek, osma va shtirli izolatorlar kallagiga metall sterjenlarni mustahkam o'rnatish uchun ishlatiladi.

Izolatorlarni o'rnatib mahkamlash uchun sement-qumli bog'lovchi tarkiblar eng ko'p ishlatiladi. Ular 2—3 qism yuqori sifatli portlandsement (500 yoki 600 markali) bilan bir qism yuvilgan kvars qumidan tarkib topgan. Portlandsement mayda tuyilgan sement klinkeridan iborat bo'lib, u tarkibida ohak va gil yoki sementli tabiiy mergellardan (tabiiy gelli ohaktoshlardan) iborat boshlang'ich materiallar aralashmasini pishirish natijasida olinadi.

Sement tarkibiga granullangan (donador) domna shlagi ko'rinishidagi gidravlik qo'shimchalar (15 %gacha) va boshqa mineral moddalar qo'shiladi; ular qotgan sementning mexanikaviy mustahkamligini oshiradi. Sementga gidravlik qo'shimchalar bilan birga inert jinslar ham qo'shiladi. Sementning zichligi $3000-3200 \text{ kg/m}^3$ ni tashkil etadi. Uning boshqa sementlar oldida katta afzalligi bor, ya'ni po'lat va cho'yanga zararli ta'sir ko'rsatmay, ular bilan birika oladi. Portlandsementning sifati uning kimyoviy tarkibi, boshlang'ich materiallarni pishirish rejimi va boshlang'ich materiallarning maydalanganlik darajasi bilan aniqlanadi.

Sementning eng muhim xarakteristikalarini birikib qolish va qotish tezligidir.

Sementning birikib qolishi—bu sement hamirining plastikmas qattiq massaga aylanishidir. Sementning qotishi—bu vaqt o'tishi bilan uning mexanikaviy mustahkamligining ortib borish protsessidir. Sement havoda va suvda qotishi mumkin.

Portlandsementlar birikib qolish va qotish tezliklari ancha kichikligi bilan farq qiladi: u kamida 45 min. o'tgach, birika boshlaydi, qotishi ko'pi bilan 12 soat o'tgandan keyin tugaydi. Bu sementning mexanikaviy mustahkamligi ortib boradigan intensiv qotishi, asosan, birinchi oy davomida sodir bo'ladi.

Portlandsementni birikib qolish va qotish tezliklari sementning temperaturasi va namligiga, sement qorish uchun ishlatiladigan suvning temperaturasiga, shuningdek, tevarak atrofdagi havoning temperaturasi va namligiga bog'liq. Portlandsementning kimyoviy va granulometrik tarkibi ham katta ahamiyatga ega. Nam tortgan sementning birikib qolish va qotish xossalari yomonlashadi, shu sababli portlandsementni quruq binoda ko'pi bilan uch oy saqlash mumkin. Turli partiyalardan olingan

sementlarni aralashtirishga ruxsat etilmaydi. Sement xamiri temperaturasining pasayishi ham sementning birikish va qotish xossalarini yomonlashtiradi.

Namunalarning siqilishdagi mexanikaviy mustahkamligiga qarab* (suvda 28 kun qotganidan keyin) portlandsementlar to'rt xil markada bo'ladi (20-jadval).

Bog'lovchi tarkiblarning ikkinchi komponenti kvarts qumi bo'lib, u sement-qumli tarkiblarda inert to'ldirilgan bo'lishi kerak.

Namunalar 40×40×160 mm o'lchamli g'o'lachalar holda bo'ladi. Ularni tayyorlash uchun sement bilan kvarts qumi 1:3 nisbatida (massa jihatdan) olinadi.

Buning uchun u maxsus qurilmalarda suv bilan yuviladi, so'ngra quritiladi. Bundan tashqari, qumning muayyan granulometrik tarkibi bo'lishi, uning asosiy massasini (90 %) 0,15–0,2 mm o'lchamli zarrachalar tashkil etishi lozim.

Sementlarning mexanikaviy xarakteristikalari (suvda 28 kun qotgandan keyin)

20-jadval

Sement markasi	Siqilishdagi mustahkamlik chegarasi (kamida), H/m ²	Egishdagi mustahkamlik chegarasi (kamida), H/m ²
300	300·10 ⁵	45·10 ⁵
400	400·10 ⁵	55·10 ⁵
500	500·10 ⁵	60·10 ⁵
600	600·10 ⁵	65·10 ⁵

Ishlatiladigan sement-qumli aralashmalar 75–80 % portlandsement va tegishli 25–20 % kvarts qumidan iborat bo'ladi. Sement va qum vibratsion elak orqali elab o'tkaziladi (alohida-alohida), so'ngra maxsus aralashtirgichlarda yaxshilab aralashtiriladi.

Sement-qumli aralashmani suvga qorish uchun 100 qism quruq aralashmaga 16–18 qism vodoprovod suvi olinadi. Quruq komponentlar bilan suvning bunday nisbati sement-qumli qorishmaga, masalan, izolatorlarni o'rnatib mahkamlashda zaruriy oquvchanlik baxsh etadi, shuningdek, qotgan sement-qumli tarkib mexanikaviy jihatdan ancha mustahkam bo'ladi.

Portlandsementlar gidravlik sementlar, ya'ni nam muhitda katta tezlik bilan qotadigan moddalar jumlasiga kiradi.

Portlandsementning suvda qotishida uning hajmiy qisqarishi juda kam bo'ladi, chunki sement tarkibiga kiruvchi moddalar orasida suv ta'sirida kimyoviy protsesslar (gidroliz va gidratlanish) sodir bo'lishi uchun yaxshi sharoit vujudga keladi. Buning natijasida sement donalari bo'kadi va hosil bo'lgan sement toshi uzluksiz zichlashib boradi, shu tufayli uning mexanikaviy mustahkamligi ortadi. Lekin sementning suvda qotishi — uzoq davom etadigan protsess. Uning tez qotishi uchun mahkamlangan izolatorlarda sement-qumli choklarni bug'lash usuli qo'llaniladi. Buning uchun izolatorlar bug'latish kameralarida teshik tokchalarga joylashtiriladi, u yerga uzluksiz ravishda 70—80°C temperaturali bug' kirib turadi.

Sement-qumli tarkiblarni hajmi bir me'yorda o'zgarishi kerak. Vaqt o'tishi bilan, ayniqsa, havodan namlikni yutganida hajmi notekis o'zgaradigan sement ishlatilganida sement qatlamining o'zi ham, izolatorning armaturasi ham buzilishi mumkin. Shu sababli sement hajmining bir tekis o'zgarishini, albatta, sinab ko'rish lozim.

Portlandsementniig kamchiligi vaqt o'tishi bilan undan suvda eriydigan erkin ohakning ajralib chiqishidir. Bu hol sement qorishma bilan elektrokeramik material hamda armatura orasidagi bog'lanishning buzilishiga, ya'ni izolatorning buzilishiga olib kelishi mumkin. Qotgan sement qorishmani suv ta'sirida ishqorlanishidan (erkin ohak chiqishidan) saqlash maqsadida sement choklar suv ta'siriga chidamli lok va emallar bilan qoplanadi. Bu yana shuning uchun ham zarurki, sement qoplama orasiga nam o'tib, kirzadan qilingan kompensatsion qistirmalar yoki probkali kompozitsiyani ho'llansa, izolatorlarning elektr mustahkamligi kamayadi.

FOYDALANGAN ADABIYOTLAR

Asosiy

1. Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. «Электротехнические материалы». Ленинград, Энергия, 1985 г.
2. Ю.В. Корицкий. «Электротехнические материалы». М. Энергия, 1976 г.
3. N.V. Nikulin. «Elektr materialshunosligi». Toshkent, O'qituvchi, 198 yil.
4. N.V. Nikulin, A.S.Nazarov. «Radiomateriallar va radiokomponentlar». Toshkent .1997 yil.
5. Sh.M. Kamolov, A.Sh. Ahmedov. «Elektrotexnika materiallari». Fan. Toshkent 1994 yil.

Qo'shimcha

1. Ю.В. Корицкий, В.В.Пасынков, Б.М.Тареев. «Справочники по электротехническим материалам». М., Энергия.
2. Е.М. Савицкий. «Металлы космической эры».
3. В.Д. Саболов. «Физические основы электронной техники». Изд. Высш.шк. 1997 г.
4. В.В. Крацухин, И.А.Соколов, Г.У.Кузнецов. «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов». М., Металлургия 1982 г.
5. А.Я. Нашельский. «Производство полупроводниковых материалов». Учеб.пос. М.,Металлургия 1985 г.
6. А.А. Преображенский. «Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы». М., Энергия, 1976 г.
7. В.А. Привезенцев, И.Б. Пешков. «Обмоточные и монтажные провода». М., Энергия, 1971 г.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
-------------	---

I bob. Elektrotexnika materiallarning asosiy xarakteristikalar

1.1. Hozirgi zamon elektrotexnikasi va radioelektronikasida elektrotexnika materiallarining o'zini.....	4
1.2. Elektr xarakteristikalar.....	6
1.3. Mexanik xarakteristikalar.....	15
1.4. Issiqlik xarakteristikalar.....	17
1.5. Fizik-kimyoviy xarakteristikalar.....	19

II bob. Elektr izolatsion materiallar

2.1. Gazsimon dielektriklar.....	21
2.2. Gazsimon dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi.....	22
2.3. Gazsimon dielektriklarning teshilishi	24
2.4. Suyuq dielektriklar haqida umumiy tushuncha	27
2.5. Neft moylari	28
2.6. Sintetik suyuq dielektriklar	33
2.7. Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi.....	35
2.8. Yuqori polimer qattiq materiallar	37
2.9. Qattiq polimerizatsion dielektriklar	38
2.10. Qattiq polikondensatsion dielektriklar.....	44
2.11. Qizdirishga chidamli yuqori polimer dielektriklar.....	48
2.12. Lok va emallar.....	51
2.13. Qog'oz va kartonlar	54
2.14. Lokli to'qimalar, lenta va loklangan naylar	59
2.15. Plastmassalar.....	62
2.16. Qatlamli plastmassalar	63
2.17. Sludali materiallar	66
2.18. Sludinit va sludoplast materiallar.....	72
2.19. Elektr keramik materiallar.....	73
2.20. Silikat (anorganik) shishalar.....	79
2.21. Mineral dielektriklar.....	81
2.22. Qattiq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi.....	83

III bob. O'tkazgich materiallar

3.1. Solishtirma qarshiligi kam bo'lgan o'tkazgich materiallar.....	86
3.2. Solishtirma qarshiligi katta bo'lgan o'tkazgich materiallar*.....	91
3.3. Olovbardosh o'tkazgich materiallar.....	92
3.4. Metallokeramik materiallar va buyumlar.....	94
3.5. Elektr-ko'mir buyumlar.....	95

IV bob. Kabel mahsulotlari. Chulg'am simlari. Montaj uchun simlar va kabellar

4.1. Kabel mahsulotlari.....	99
4.2. Ochiq (izolatsiyalanmagan) simlar.....	102
4.3. Chulg'am simlari.....	102
4.4. O'rnatish simlari.....	103
4.5. Elektronika va elektrotexnikada qo'llaniladigan sof metallar va qotishmalar.....	105

V bob. Yarim o'tkazgich materiallar

5.1. Asosiy xossalari.....	112
5.2. Yarim o'tkazgich materiallar.....	121

VI bob. Magnit materiallar

6.1. Materiallarning magnit xarakteristikalar.....	125
6.2. Magnit materiallar tasnifi.....	129
6.3. Metall magnit-yumshoq materiallar.....	131
6.4. Metall magnit-qattiq materiallar.....	134
6.5. Ferritlar.....	137
6.6. Magnitodielektriklar.....	141

VII bob. O'ta o'tkazuvchanlik va o'ta o'tkazgichlar

7.1. O'ta o'tkazuvchan materiallar.....	143
7.2. O'ta o'tkazgichlarning qo'llanilishi.....	150
7.3. O'ta o'tkazgichli magnitlarning qo'llanilishi.....	152
7.4. Djozefson effektlari.....	153
7.5. Krio o'tkazgichlar.....	154

VIII bob. Kavsharlar, fluslar va yelimlar

8.1. Kavsharlar va fluslar.....	156
8.2. Yelimlar va bog'lovchi tarkiblar.....	158
Foydalanilgan adabiyotlar.....	164

I. B. XALIQULOV, M. M. NISHONOVA

ELEKTROTEXNIKA MATERIALLARI

Toshkent—«Fan va texnologiya»—2006

Muharrir:

S. Badalboyeva

Texnik muharrir:

Adham Moydinov

Musahhih:

Muazzam Hayitova

Dizayner va kompyuterda

sahifalovchi:

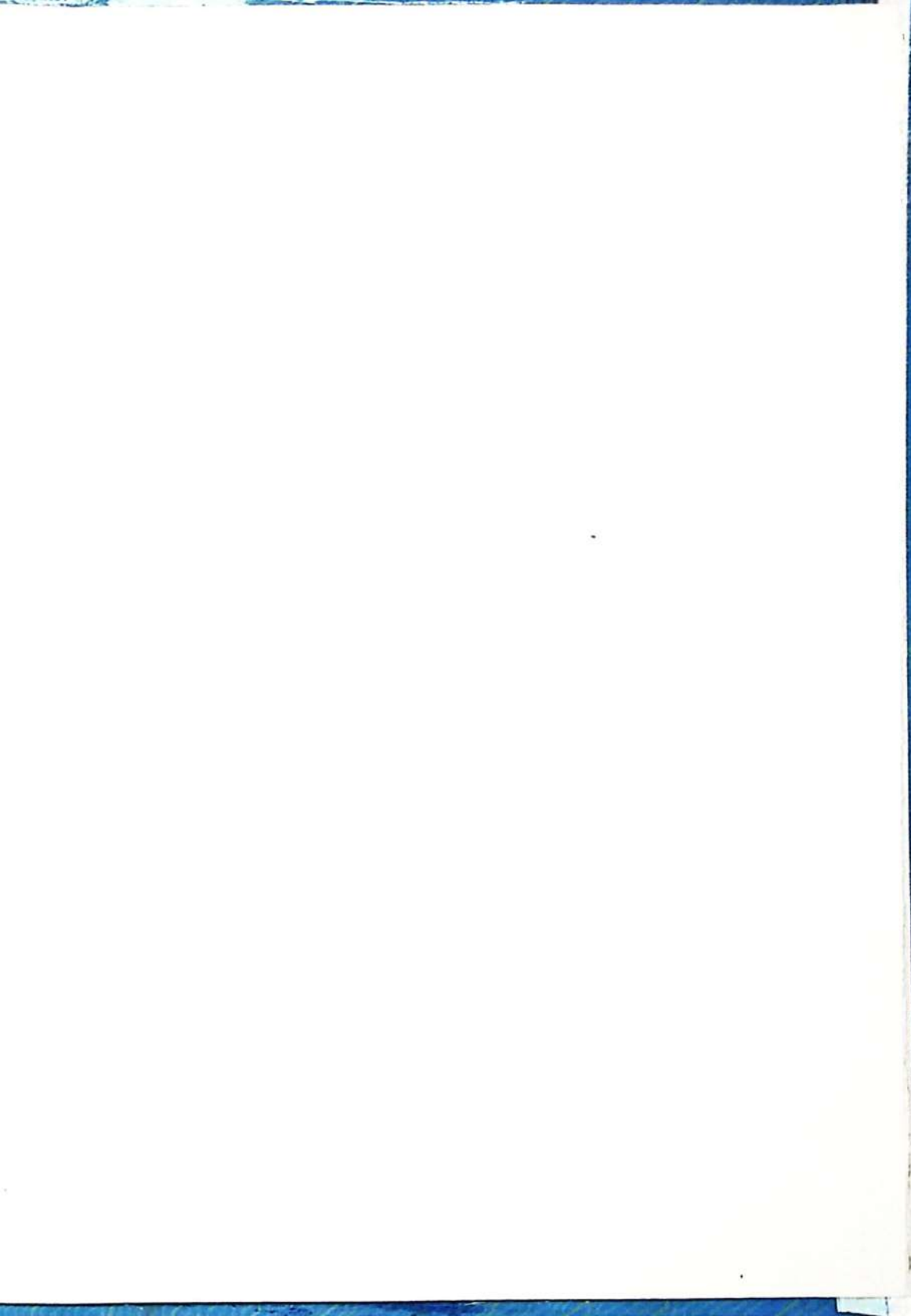
Fotima Moydinova

Bosishga ruxsat etildi 10.11.06. Bichimi 60x84^{1/16}. «Times Uz»
garniturası. Ofset usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 11,0.

Nashriyot bosma tabog'i 10,5. Adadi 3600.

Buyurtma №102

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi»da chop etildi
700003, Toshkent sh., Olmazor, 171.



ISBN 978-9943-10-006-0