

16-modul. Kompozitsion materiallar.

Reja:

1. Kompozitsion materiallar haqida umumiy ma'lumotlar.
2. Ularni olish, tarkibi, tuzilishi, xossasi va ishlatilish sohasi.

Kompozitsion materiallar an'anaviy konstruktsion materiallarga nisbatan alohida xossalarga ega. Bu narsa ijobiy xususiyatli materiallarni va konstruktsiyalarni yaratishga olib keldi.

Kompozitsion materiallar (k.m.) ikki va undan ortiq tashkil etuvchilardan-komponentlardan tuzilgan murakkab material bo'lib, har xil usullar bilan bog'langan va o'ziga xos xossalari bor.

Birinchi kompozitsion material frantsuz bog'boni J.Mone 1867 yilda patentlangan (hovli gul tuvaklari, sim va sementdan yasalgan).

Samolyot konstruktsiyasida oynoplastik "stekloplastik" poliefir materiali oyna tolasi bilan sinchlangan ("armirovan") kompozitsion material 1942 yilda qo'llanilgan.

Kompozitsion materiallar mashinasozlik apparati konstruktsiyalariga qo'yilgan quyidagi talablarga javob beradi:

- yengil bo'lishligi;
- maksimal mustahkamlik va bikirlik;
- ishlash davrida maksimal ishlash resursi.

Shular uchun kompozitsion materiallar samolyotsozlikda ko'p qo'llanilgan.

CCCP ning "Ruslan" samolyotida 5,5 t. og'irlikdagi konstruktsion kompozitsion materiallardan yasalgan va 15 t. og'irlik iqtisod qilingan.

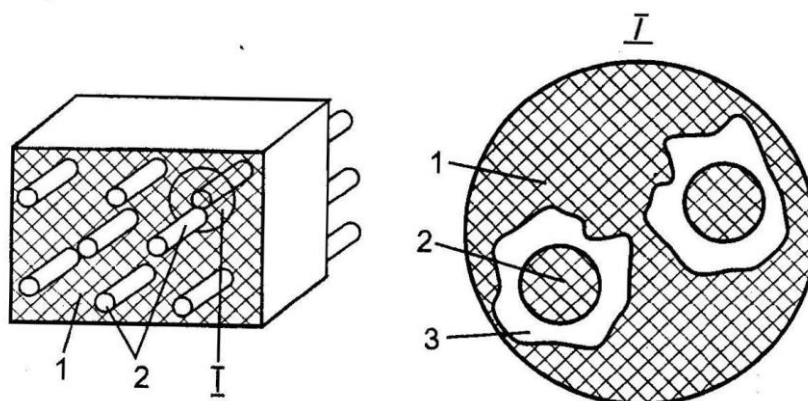
Hozirgi zamon transport samolyotlari konstruktsiyalarining 15-20%; harbiy samolyotlarning 25-30%; harbiy vertolyotlarning 45-55%; strategik raketalarining 75-80% kompozitsion materiallardan yasalgan.

Kompozitsion materiallarga quyidagi xususiyatlar yig'indisi xos:

- a) Komponentlarning tarkibi, formasi va taqsimlanishi oldindan aniqlangan;
- b) Ikki va undan ortiq kimyoviy har xil materiallardan tarkib topgan va birlari bilan ajralib turadilar;
- v) Kompozitsion materialning xossalari har bir tashkil etuvchining xossalari bilan aniqlanadi;
- g) Kompozitsion materialning xossalari, tashkil etuvchilarning xossalaridan farq qiladi;
- d) Kompozitsion material makromasshtab miqyosida birtanli, mikromasshtabda bir tanli emas;
- e) Bu material tabiyatda uchramaydi va odamzodning ixtirosidir.

Geometrik ko'rsatkichlariga qarab tashkil etuvchilar har xil bo'ladi. Butun hajm bo'yicha uzluksiz-to'xtovsiz tarqalgan hamda kompozitsion materialning bir butunligini ta'minlovchi komponent **-matritsa** deyiladi (1-matritsa). Uzlukli, bo'lak-bo'lakli materiallar **sinchlovchi yoki puxtalovchi modda** tashkil etuvchilar ya'ni armatura deb ataladi.

Matritsa bilan qo'shimchalar orasida maxsus yupqa qatlam bo'lib, u ajralish yuzasini – 3 belgilaydi.



1-rasm **Kompozitsion materiallarning tuzilishi**

SHartli belgilar: 1- matritsa (bog'lovchi material); 2- armatura (mustahkamlovchi) element; 3- ajralish yuzasi.

Kompozitsion materiallarni sinflarga ajratishda matritsa yoki armatura va qo'shimchalarning turiga, mikrotuzilish xususiyatlari va materialni olish usullariga asoslangan.

Matritsa materiali sifatida metall va uning qotishmalari; organik va noorganik polimerlar; keramika, uglerod va boshqa materiallar ishlatiladi. Matritsa materiali xossalari kompozitsion materialni olish texnologik jarayonini ifodalaydi. Uning zichligini, mustahkamligini, ishlash haroratini, charchab buzilishga qarshiligini, tashqi agressiv muhitga qarshiligini ifodalaydi.

Sinchlovchi yoki puxtalovchilar matritsa bo'ylab bir tekisda joylashadi. Bular yuqori puxtalikka, qattqlikka, elastiklik moduliga ega. Bu ko'rsatkichlar matritsa ko'rsatkichlarinikidan ancha yuqori.

“To'ldirgichlar” puxtalikni oshirib qolmay, kompozitsion materialning boshqa xossalariga ham ta'sir qiladi.

To'ldirgichlarning geometriyasiga qarab, ularni matritsada joylashishiga qarab, kompozitsion materiallar quyidagicha klassifikatsiya qilinadi.

To'ldirgichlarning geometriyasiga qarab:

1. **Nol-o'lchamli to'ldirgichli:** bularning o'lchamlari uch tomonlama o'lchashda bir xil o'lcham ko'rsatkichiga ega;

2. **Bir-o'lchamli to'ldirgichli:** o'lchamlardan birining o'lchamlari qolgan ikkitasinikidan juda katta;

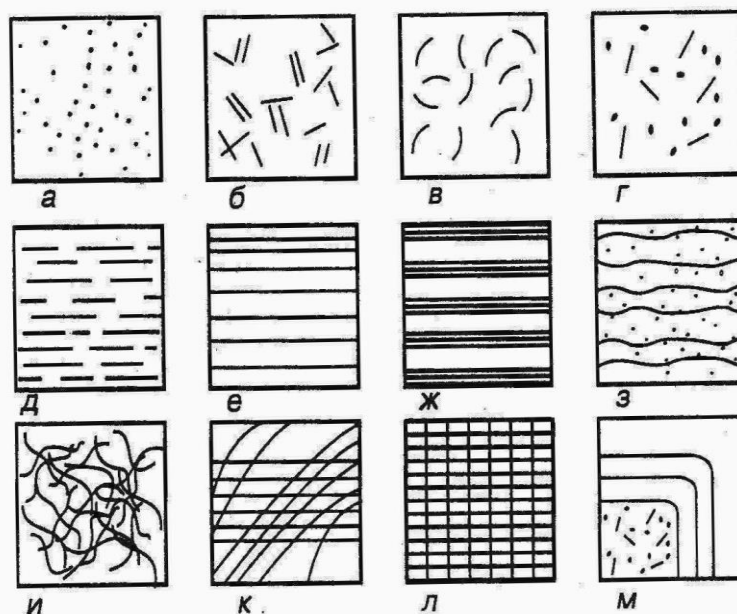
3. **Ikki-o'Ichamli:** ikki o'Ichami qolgan bittasidan juda katta.

To'ldirgichlarning joylashish sxemasiga qarab kompozitsion materiallar uch guruhga bo'linadi:

1. To'ldirgichlarni bir o'qda-chizig'iy joylashishi bilan to'ldirgichlar tola, ip, intevid shaklidagi kristallar formasiga bo'lib, matritsada bir- biriga parallel bo'ladi;

2. Ikki o'qli-yuzali: bularda sinchlovli to'ldirgichlar tola formasida, intevid kristallarning matolari formasida, matritsada folga formasida parallel tekisliklarda bo'ladi;

3. Uch o'qli-hajmiy: bunda sinchlovchi to'ldirgich hajm bo'yicha joylashgan; afzal yo'nalishi yo'q.



2-rasm

Kompozitsion materiallarni makrotuzilishi bo'yicha farqlanish sxemasi

SHartli belgilar:

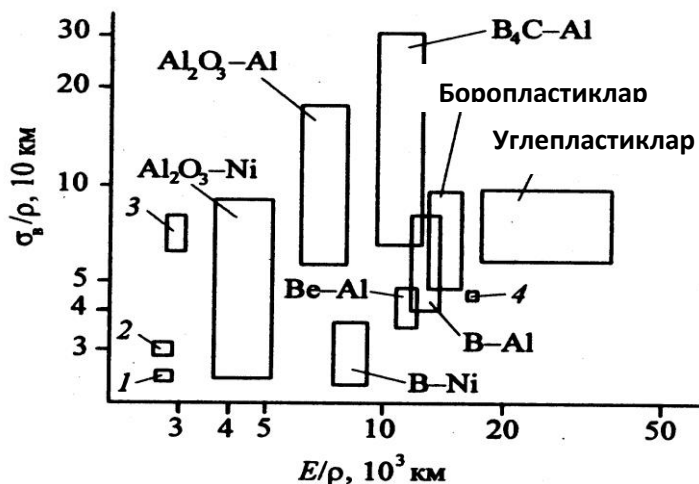
Tuldiruvchi va armaturaning tartibsiz (*a, b, v, g va i*), bir o'q yo'nalishida (*d, e, j va z*), murakkab (*k, l va m*.) joylashuvi.

Bunda: *a* - kukun; *b*- kalta tolalar; *v* - payraxalar; *g*- kukun bilan kalta tolalar aralashmasi; *d*- kalta tolalar; *e*- va *i*- uzun tolalar; *j*-to'qima va yupqa materiallar chiqindisi, *z*- to'qima va kukun aralashmasi.

Komponentlarning tabiatiga qarab kompozitsion materiallar quyidagi to'rt guruhga bo'linadi:

1. Tarkibida metall yoki metall qotishmasi bor;
2. Tarkibida oksidlar, karbidlar, nitridlarning noorganik birlashmalari borlari;
3. Tarkibida metall emas elementli, uglerodli, borli va h.k. li komponent borli;
4. Komponentlari organik moddalar birlashmasidan (epoksidli, poliefirli,

fenolli va h.k. smolalar) tashkil topgan.



Kompozitsion materiallar hozirgi zamon konstruksion materiallarga nisbatan ancha yuqori nisbiy bikirlikka (E/r) va nisbiy puxtalikka (σ_v/p) ega.

3-rasm Nisbiy puxtalik va nisbiy egiluvchanlik moduli:

1 – alyuminiy uchun; po‘lat va titan; 3 – oyna plastik; 4 – berilliy va boshqa materiallar uchun

Kompozitsion materialning elastiklik modulini xohlagan tomonga ko‘tarish mumkin, o‘sha tomonga sinchlovli qo‘yib.

Kompozitsion materiallarning ishonchliligi ham yuqori. Oddiy qotishmalarda darz ketish va uning o‘shishi ishlash vaqtida tez ketadi. Kompozitsion materialda darz ketish matritsadan boshlanadi. U o‘sa olmaydi, chunki yo‘lda puxtalovchi to‘ldirgichga borib taqaladi.

Nol-o‘lchamli to‘ldirgichli kompozitsion materiallar

Bu tipdagi kompozitsion materiallarda matritsa asosan metaldan va qotishmadan iborat. Metall asosidagi kompozitsiyalar bir tekis puxtalanadi, dispers zarrachalar bilan. Dispers zarrachalar:

- a) Mikroskopik ($d=0,01-0,1 \text{ mkm}$);
- b) Mayda ($d=1-50 \text{ mkm}$) bo‘ladi.

Xossalari **izotrop** bo‘ladi.

Dispers zarrachalar bilan sinchlangan kompozitsiyalar ko‘pincha kukun metallurgiyasi usulida olinadi. Asosiy etaplari:

1. Matritsa metali va puxtalovchini kukunlarini aralashmasini olish (maxsus usullar bilan kukunlar olinadi. So‘ngra maxsus mashinalarda aralastiriladi).

2. Po‘lat matritsalarida kukunni presslash va ixcham zagatovkaga aylantirish. So‘ngra uni termik ishlash - ”spekonie” Presslash, deformatsiyalash va termik ishlash davrida **mahsulot** optimal, turg‘un dislakatsion strukturaga ega bo‘ladi.

Bunday materiallarda hamma kuchni matritsa o‘ziga oladi. Dispers zarrachalar esa plastik deformatsiyani rivojlanishiga tusqinlik qiladi. Bunda dispers zarrachalar ham yakka holdagi dislakatsiyalarning harakatiga ham dislokatsiya hosillari harakatiga to‘sqinlik-qarshilik qiladilar. Samarali puxtalanish puxtalovchi modda miqdori 5-10% tashkil etganda sodir bo‘ladi.

Kompozitsiyaning puxtalik darajasiga puxtalovchi dispers zarrachalarning hajmiy birligi, uning disperslik darajasi va zarrachalar orasidagi masofa ta‘sir qiladi. Qarshilik ortadi zarrachalar orasidagi masofa kichiklashishi bilan

$$\sigma = Gb / l;$$

bu Orovan formulasi,

G- matritsa material siljish (“sdvig”) moduli;

b-atomlar orasidagi masofa;

l-puxtalovchi zarrachalari orasidagi masofa.

Sinchlovchi to‘ldiruvchilar sifatida ko‘pincha qiyin eriydigan oksidlarning, nitridlarning, boridlarning, karbidlarning dispers zarrachalari (Al_2O_3 ; ThO_2 ; HfO_2 ; BN; SiC; WC; TiC) xizmat qiladi. Bu qiyin eriydigan birlashmalar yuqori elastiklik moduliga ega; zichligi past; matritsa materialiga nisbatan inert. Masalan, ThO_2 ; Al_2O_3 larning elastik moduli $380,5 \cdot 10^3$ va $146,12 \cdot 10^3$ Mpa ga teng, zichligi 1,0 va $3,97 \text{ g/sm}^3$.

Alyuminiy matritsali kompozitsion materiallar (nol-o‘lchamli)

Mashinasozlikda, alyuminiy asosidagi Al_2O_3 bilan puxtalangan kompozitsion materiallar o‘rin olgan. Bular kukun metallurgiyasi usulida alyuminiy upasini-kukunini presslab termik ishlab olinadi (**SAP**). Upa zarrachasi “cheshuyka” formasida bo‘lib, qalinligi=1mk.m. Zarrachalar yuzasidagi oksid plenka qalinligi $t=0,01-0,1$ mkm. **SAP**-pishirilgan alyumin kukuni (“spechyonnaya alyuminevaya pudra”). Tarkibi: Al_2O_3 (6-22%); va alyumin.Ikkalasi ham kukun holatda. SAS – bu pishirilgan alyumin qotishmasi (“spechyonnyy alyuminevyy splav”). Kimyoviy tarkibi: SAP ga Fe, Ni, Cr, Mn, Cu, lar qo‘shiladi, ya’ni shular bilan legirlanadi.

SAP ning 20⁰S dagi mexanik xossalari.

Marka	Al_2O_3 ; % hajmi	σ_v , MPa	$\sigma_{0,2}$ MPa	δ_1 , %	E, MPa
SAP-1	6-8	300	200	7-9	67
SAP-2	9-12	320	230	4	71

SAP-3	13-17	400	340	3	76
D20		420	300	11	69

Duralyumin-Al-Cu-Mg tizimidagi Al qotishmasi D20 ning xossalari toblash (535 ± 5)⁰S va 180⁰S da 124 soat ichida eskirishdan so‘ng. Bu sharoitda D20 ning mexanik xossalari SAP dan yuqori.

SAP ning ilg‘orligi-yaxshi tomonlari 300⁰S dan yuqorida bilinadi, namoyon bo‘ladi. Bu haroratda alyuminiy qotishmalari o‘z puxtaliklarini yo‘qotadi. Dispersli-mustahkamlangan qotishma uz xossalarini 0,8 T erish haroratigacha ushlab tura oladi, chunki puxtalangan zarrachalarning termodinamik turg‘unligi katta. Kislorod alyuminiyda erimaydi. Al₂O₃ ning zarrachalari o‘zaro ta’sir qila olmaydilar, chunki oradagi alyuminiy matritsa bunga yo‘l qo‘ymaydi. 500⁰S da deformatsiyalanadigan qotishma D19 va D20 larning mustahkamligi $\sigma_v=1-5$ MPa ni tashkil qiladi. SA-1 niki $\sigma_v =80$ Mpa; SAP-2 niki $\sigma_v=90$ Mpa; SAP-3 niki $\sigma_v=120$ Mpa.

SAP larning fizik xossalari (elektr o‘tkazish, issiqlik o‘tkazish, termik kengayish koeffitsienti) Al₂O₃ ning miqdoriga bog‘liq. Al₂O₃ ortishi bilan fizik xossalari pasayadi. Lekin, SAP-3 ning elektr va issiqlik o‘tkazishi D19 va D20 larnikidan yuqori.

SAP qotishmalari issiq holda qoniqarli deformatsiyalanadi. SAP-1 sovuq holda ham deformatsiyalanadi. SAP oson qirqiladi; argon yoy va kontakt usullarida qoniqarli payvandlanadi.

SAP lardan yarimfabrikatlar chiqariladi: listlar, profillar, trubalar, folga. SAP dan yasalgan detallar 300..500⁰S da benalol ishlayveradi: kompressor, trubina, ventilyator lopatkalari, porshen shtoklari. Issiq va kuch ostida ishlaydigan detallar usti SAP listlari bilan qoplanadi.

Nikel matritsali kompozitsion materiallar (nol-o‘lchamli)

Bunday kompozitsion materialning puxtalovchi komponentlari zaharli **toriy dioksidi** (ThO₂) yoki **gafniy dioksidi** (HfO₂) zarrachalaridir. Bu materiallar **VDU-1 va VDU-2** deb belgilanadi. **VDU-3** qotishmasida matritsa vazifasini nikel-xromli qattiq eritma (20%-xrom) bajaradi. Puxtalovchi zarracha-gafniy dioksidi.

Gafniy va toriy oksidlari qisishda yuqori mikroqattqlikni va puxtalikni ko‘rsatadilar. Matritsa esa maksimum turg‘un. Toriy va gafniy oksidlarini hajmi 2-3%.

HfO₂ oksidining mexanik xossalari yuqoridagi ThO₂ nikidan kam farq qiladi.

Issiqqa bardoshligi oksid zarrachalarning soniga, o‘lchamlariga; matritsa dipolarining ham o‘lchamlariga, formasiga va qurilishiga bog‘liq. Matritsaning bu dipolari bosim ostida va termik ishlash davrida hosil bo‘ladi.

VDU-1, VDU-2, VDU-3 larning issiqqa bardoshligi oddiy haroratda nikel asosidagi issiqbardosh po‘latlarnikidan past. Lekin, harorat ko‘tarilishi bilan VDUlarning issiqqa bardoshligi (shu haroratdagi mustahkamligi) shu harorat uchun nikel asosidagi issiqqa bardosh po‘latlarning mustahkamligidan katta bo‘adi.

VDU-1, VDU-2 plastik, shuning uchun har xil harakatda har xil usullar bilan deformatsiyalanadi: bolg‘alash, shtamplash, cho‘ktirish, botirish. Bir biri bilan yuqori haroratli kavsharlash vositasida birlashtiriladi. Diffuzion payvandlash ham qo‘llash mumkin.

VDU-2, VDU-3 truba, chivik, list, sim, falga sifatida chiqariladi. Bular asosan aviatsiya dvigatellari uchun ishlatiladi: lopatkalar, alanga stabilizatori, yonish kamerasi.

Bir-o‘lchamli to‘ldirgichli kompozitsion materiallar

Bu tipdagi kompozitsion materiallarda puxtalovchi komponent sifatida bir o‘lchamli elementlar **ipsimon kristall**, tola (sim) formasida ishlatiladi. Tolalar va boshqa sinchlovchi elementlar matritsa vositasida bir bo‘lak qilib maxkamlanadi-qotiriladi. Matritsa tolalarni buzilishdan-zarb yeyishdan-uzilishdan saqlaydi. Matritsa kuchlanishni tolaga uzatadi. Agar bitta tola uzilsa, kuchni qayta taqsimlaydi. Bu yerda asosiy shart tolalar matritsa bo‘ylab bir tekisda bo‘lingan bo‘lishi lozim.

Kompozitsion xossalarga sinchlovchi tolalarning puxtaligi, matritsaning bikirligi, matritsa bilan tola orasidagi bog‘liqlik mustahkamligi ta’sir qiladi.

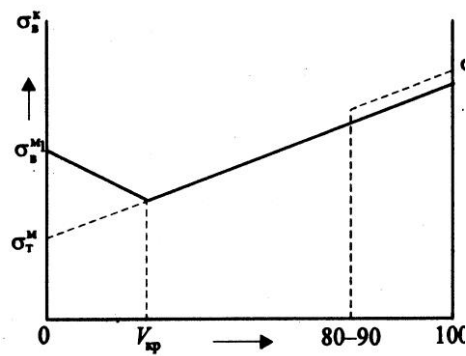
Tolalar bilan puxtalash

Matritsaga joylashgan tolalarning elastik moduli (E_t) matritsa materialining elastik modulidan (E_m) dan katta bo‘lishi kerak: $E_t > E_m$.

Bu kompozitsiyaning mexanik xossalarining yuqori bo‘lishining asosiy va zaruriy sharti.

Kompozitsion materiallar nazariyasi shuni takoz qiladiki, tolalar butun matritsa bo‘yicha bir tekisda joylashgan bo‘lishi kerak va matritsa-tola chegarasida hech qanday sirpanish bo‘lishi mumkin emas. Shunda kuch matritsa va tolalar orasida bir xil bo‘linadi. Kompozitsiya, matritsa va tola deformatsiyalari teng bo‘ladi: $\xi_k = \xi_m = \xi_t$.

Bu holda kompozitsiya puxtaligi $\sigma_{v.kom}$ tolalarning hajmiga qarab o‘zgaradi:



Rasm 4 Tolali material mustahkamligining to'ldirgich miqdoriga qarab o'zgarishi

Holi, tolalarning hajmi $\vartheta_{tola} < \vartheta_{kr}$ bo'lganda kuchni tolalar qabul qilib uziladi va kuchni faqat matritsa qabul qiladi. Hajm ϑ_{kr} dan oshgach ($\vartheta_{tola} > \vartheta_{kr}$), kuchni tola oladi va uning puxtaligi kompozitsiya puxtaligini aniqlaydi.

Kompozitsiya puxtaligi matritsa va tola puxtaliklarining yig'indisiga teng

$$\sigma_{v.kom.} = \sigma_{v.tola} \vartheta_{tola} + \sigma_{v.matr}(1 - \vartheta_{tola})$$

Shu kabi elastik moduli ham.

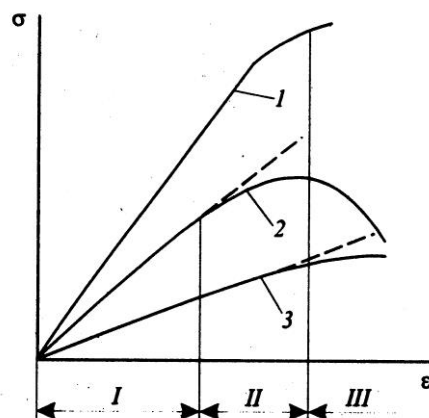
$$E_{kom} = E_{tola} \vartheta_{tola} + E_{matr}(1 - \vartheta_{tola}).$$

Kompozitsiyaning puxtaligi $\vartheta_{tola} = 0,8-0,9$ gacha bo'lguncha oshadi. Bundan so'ng matritsa materialini tola bilan to'ldirish qiyin. Matritsa bilan tola bog'lanishi pasayib, ular bir biriga nisbatan sirpanishi mumkin.

Puxtalovchi tolalarning matritsada kritik hajmi, quyidagicha aniqlanadi:

$$\vartheta_{kr} = (\sigma_{v.matr} - \sigma_{t.matr}) / (\sigma_{v.tola} - \sigma_{t.matr})$$

Kompozitsion materiallarning tola yo'nalishi bo'yicha berilgan kuch ta'siri ostida deformatsiyasi uch bosqichda o'tadi.



Rasm 15. Cho'zish diagrammasi:

1 – tola; 2 – matritsa; 3 – bir tomonga yo'nalgan tolali kompozitlar uchun

Birinchi (I) bosqichda elastik deformatsiya bo‘ladi. Bu tolaga ham, matritsaga ham tegishli.

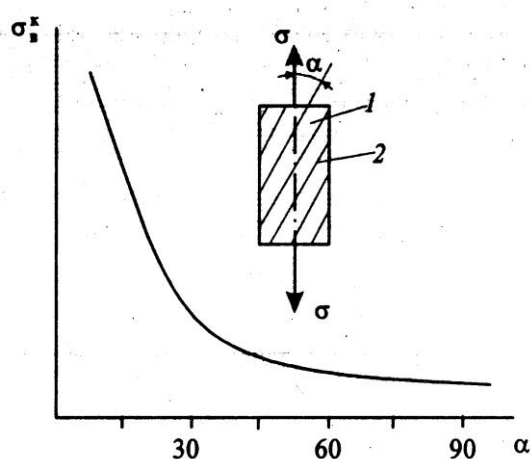
Ikkinchi (II) bosqichda matritsa elastik-plastik holatga o‘tadi, tolalar esa elastik deformatsiyalanadi. Bu holda elastik moduli:

$$E_{\text{kom}} = E_{\text{tola}} \vartheta_{\text{tola}} + (d\sigma_{\text{mat.}}/d\varepsilon_{\text{mat.}}) \vartheta_{\text{mat.}}$$

bu yerda: $d\sigma_{\text{mat.}}/d\varepsilon_{\text{mat.}}$, matritsaning deformatsion puxtalanishi.

Uchinchi (III) bosqichda kompozitsiya puxtaligi keskin pasayadi, chunki murt tolalar uziladi va matritsa buziladi.

Tolali **kompozitlar anizotrop material** hisoblanadi. Mexanik xossalari tolalarning kuch yo‘nalishiga qarab joylashishiga bog‘liq.



Rasm 6

Bir tomonga yo‘nalgan tolali kompozit mustahkamligining tola yo‘nalish burchagiga qarab o‘zgarishi:

1- matritsa; 2- tola

Bu kamchilikni tola materialini to‘g‘ri tanlab va hajmiy sinch tolalarini, detallarini shunday tanlash kerakki, kuch tola bo‘yicha ta‘sir qilsin.

Sinchlovchi materiallar va ularning xossalari

Kompozitsion materiallarni puxtalash uchun yuqori puxtalikdagi:

a) po‘lat simlar; volframdan, molibdendan olingan simlar, ularning qotishmalaridan olingan simlar va h.k.

b) bor, uglerod, oyna-shisha; alyuminiy nitridi va kremniy nitridi oksidi monokristali tolalaridan foydalaniladi.

Simlar - eng arzon hammabop sinchlovchi material. Po‘latdan va berilliydan olingan detallar uchun ishlatiladi. Volfram va molibdendan yasalgan simlar o‘rta va yuqori haroratda ishlatiladi.

Hozirgi vao‘tda puxtalash uchun austenit, austenit-martensit, martensit

klassidagi po‘latdan olingan tola-simlar ishlatilmoqda.

Austenit klassidagi (X18N9, X18N10T) po‘latlarni 92% ga qisib, **kiryalab** (“**volochenie**”) sim olinadi. Bunda puxtalik birdaniga ortib, plastiklik anchagini pasayadi. Turg‘un emas austenitning matrensitga aylanishini tezlashtirish uchun zagatovka sovuq (minus) haroratgacha sovitiladi - bunga **sovuqlayin ishlash** (“**obrabotka xolodam**”) deyiladi.

Martensit strukturali simning puxtaligi austenit strukturaliknikidan 40-50% yuqori.

Martensit klassidagi po‘latlar 30X13; N17N2; 13X14N3FA dan, ularni 950-1000⁰S da toblab (suvda yoki yogda), bo‘shatib yuqori puxtalikdagi simlar olinadi. Masalan, 30X13 ning puxtaligi 2000 Mpa ga yetadi.

Austenit va martensit klassidagi po‘latlardan yasalgan sim 380-400⁰S da puxtaligini yo‘qotadi.

Austenit-martenit klassidagi 20X15N5AM3 po‘lat puxtaligini 480-500⁰S da ham ushlab turadi. Sovuq holda kiryalash (80%) bilan uning puxtaligini ancha oshirish mumkin: 3200 Mpa.

Puxtalanish simning diametriga bog‘liq: diametr kichiklashishi bilan puxtalanish ortadi.

Volfram va molibden olingan simlar. Volfram va molibdendan hamda ularning qotishmalaridan olingan simlar, asosan **kukun metallurgiyasi** usulida olinadi. Oxirida kiryalanadi. Volfram simlarini olishda qo‘shimcha sifatida oksidlar ThO₂; SiO₂; La₂O₃ lar ishlatiladi. Bu volfram simini mustahkamligini yetarli darajada ushlab turadi.

Oldin diametri 2,75 mm bo‘lgan shtabiklar olinadi: po‘lat formada, bosim $R=4-6 \text{ ts/sm}^2$ da, gidropresslarda, 3000⁰S haroratda termik ishlab -pishirib (“**spekanie**”). Kiryalash: 1000⁰S da boshlanib, asta pasaytirib, oxirgi davrda 400-600⁰S ga tushirib. Bir necha bor yumshatiladi: birinchisi 800⁰S da, qolganlari 600-750⁰S da. Yumshatish bilan birga kiryalanadi: diametri $d=0,3; 0,12; 0,05$ mm li **kiryalar** (“**filera**”) bilan.

Diametri 0,5 mm bo'lgan volfram simlarining xossalari

Sim markasi	Harorat, °S	Puxtalik, MPa	Uzoq muddatli puxtalik, 100 soat. MPa	Oquvch anlik chegarasi, $6 \cdot 10^{-5}$
VA	900	1320	630	760
W ₊ qo'shimcha- "prisadka"	1000	1130	480	630
	1100	-	350	470
SiO ₂ va Al	1200	740	330	380
VT-15	900	-	-	-
W ₊	1000	1200	660	830
2% ThO ₂	1100	1090	440	600
	1200	850	410	520
BP-20	900	2670	1170	1950
W ₊	1000	2140	1060	1300
20% Re	1100	1990	420	690
	1200	1390	240	350

VR-20 ning puxtaligi, uzoq muddatli puxtaligi 1100⁰S gacha ancha yuqori. VT-15 esa 1200⁰S da ham uzoq muddatli puxtaligini saqlagan.

Molibden, volfram, tantaldan yasalgan simlar o'z mustahkamliklarini 1200-1500⁰S da saqlab turadilar. Molibdenli simlar ham shu yo'sinda olinadi. Molibden volframga nisbatan ancha plastik. Past haroratda ishlanadi, volframga nisbatan (100-200⁰S) past haroratda. Molibden qo'shimchasiz sovuq holda ham deformatsiyalanadi va 0,3 dan 0,02 mm gacha diametrli sim olinadi.

Umuman, volframli va molibdenli simlarni issiqbardosh kompozitsion materiallarni sinchlash uchun ishlatish maqsadga to'g'ri keladi.

Berilliyli simlar. Berilliyning zichligi kam: $\gamma=1850 \text{ kg/m}^3$; katta mustahkamlikka va Yung elastik moduliga ega. Bular berilliyning nisbiy xarakteristikalarini.

Berilliy simi 400-480⁰S da kiryalanadi. Bu haroratda berilliy plastikligi juda yuqori bo'ladi va **kam uglerodli po'lat** plastikligiga yaqin keladi. Berilliy metall qobiq'i ichida kiryalanadi, masalan, nikel qobiq'ida. Kiryalab bo'lgandan so'ng, qobiq eritib olib tashlanadi ("travit") . So'ng sim yuzasi elektro-kimyoviy sayqallanadi. Metall qobiq sifatida matritsa materiali ham ishlatiladi. Bu holda elektro-kimyoviy eritish va saykallash operatsiyalari bulmaydi.

Diametri 1,8 mm bo'lgan berilliy simi $\sigma_v=1129$ Mpa, $E=320 \cdot 10^3$ MPa ga ega. Qattiq deformatsiyalangan berilliy tolasi yuqori rekristallanish haroratiga ega: 700°S . Kamchiligi: past plastikligi ($\delta=1-2\%$) va zaharliligi.

Berilliy simi kupincha matritsasi alyuminiy, magniy yoki titandan bo'lgan kompozitlarni puxtalash uchun ishlatiladi.

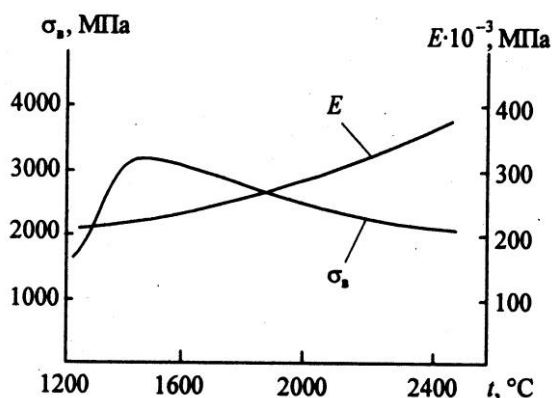
Uglerodli tolalar. Bular poliakripnitrilli gidrotsellyulozali toladan yoki neftli smola asosida olingan tolalardan olingan. Uglerodli tolalarni olish texnologiyasi organik dastlabki tolalarni issiq ta'sirida parchalanishiga asoslangan. Qizdirish **boshqariladigan atmosferada** olib boriladi.

Uglerodli tolalarni ishlab chiqarish quyidagi operatsiyalardan iborat:

1. **Oksidlash;**
2. **Karbonizatsiyalash;**
3. **Grafitlash.**

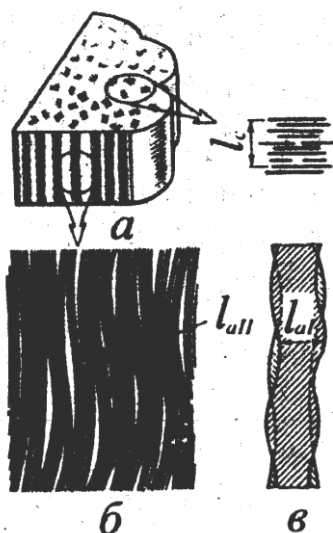
Tolalar $200-300^\circ\text{S}$ da olib boriladi. Karbonizatsiya 900°S dan yuqorida vodorod muhitida o'tadi. Unga o'tga turg'unlik xossasi beriladi 2500°S dan yuqorida uglerod tolasi hosil bo'ladi.

Ishlash vakuumda yoki inert gaz (azot, argon, geliy) muhitida olib boriladi. Uglerod tolasi xossalariga yakunlovchi harorat katta ta'sir qiladi. Grafitlash haroratini o'zgartirib, tola xossalarini boshqarish mumkin:



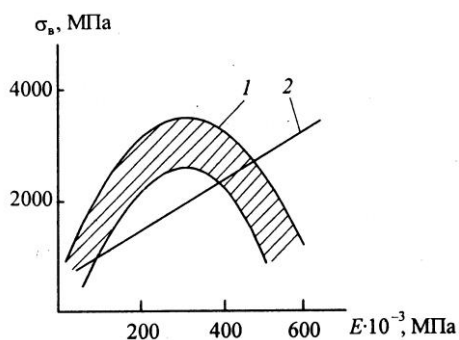
Rasm 7. Uglerodli tolalar xossalariga grafitizatsiya qilish haroratini ta'siri

Uglerodli tolalar strukturasi lentasimon kondensirovkalash uglerod qatlamlari tizimidan iborat. Bu **geksogonal strukturali**, nomi **mikrofibrillalar**. Bir xil yunaltirilgan mikrofibrillar gruppasi **fibrillalarni** tashkil qiladi. Bunda mikrofibrillar bir-birlaridan tor tirkishlar bilan ajralib turadi.



Rasm 8. Uglerodli tolalar qurilishini sxemasi:
 a - umumiy ko‘rinish; b – fibrillarning uzunasiga kesimi; v – mikro fibrillani ko‘ndalang kesimi; l_a va l_c – mikro fibrillani ko‘ndalang o‘lchamlari

Fibrillalarning o‘zaro joylanishi, ularni “orientatsiya” darajasi dastlabki xom-ashyoga bog‘liq: tolaning cho‘zilish darajasiga, makromolekula tarkibiga, tola olish texnologiyasiga. Shuning uchun har xil dastlabki materiallardan olingan tolalarning puxtalik va bikirlik xossalari bir-biriga nisbati har xil, puxtalik xossalari ham har xil.



Rasm 9. Poliakrilnitrildan (1) va viskozadan (2) olingan uglerodli tolalarning vaqtincha qarshiligi va egiluvchanlik moduli orasidagi bog‘liqlik

Uglerodli tolalar puxtaligiga nuqsonlar ancha ta’sir qiladi: g‘ovaklik, darz ketish.

Mexanik xossalari qarang 2 xil bo‘ladi:

1. **Yuqori puxtalikdagi tola:** $\sigma_v=2500-3200$ MPa

$E=(180-220)10^3$ Mpa.

2. **Yuqori modulli tola:** $\sigma_v =1400-2200$ Mpa

$E=(350-550)10^3$ Mpa.

Korxonalar uglerodli tolalarni **buralgan** yoki buralmagan arqon formasida chiqaradi. Arqondagi tolalar soni: 1000-160 000 tola diametri $d=7$ mkm. Kamchiliklari:

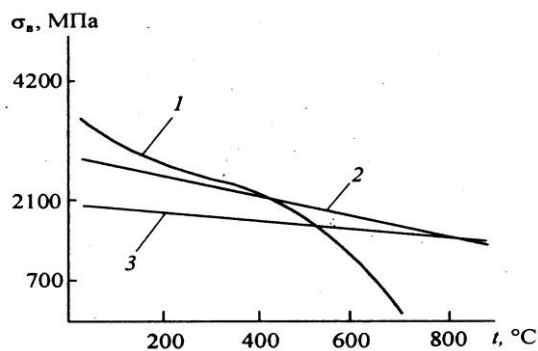
1. Havoda oksidlanishiga moyilligi;

2. Metall-matritsa bilan kimyoviy aktivligi;
3. Polimer-matritsa bilan adgeziya pastligi.

Yuqoridagi 2 kamchilikni yo'qotish uchun tolaga metall va keramika qoplama beriladi.

Bor tolasi. Diametri $d=12$ mkm bo'lgan, tozalangan va dastlab $1100-1200^{\circ}\text{S}$ gacha qizdirilgan volfram simiga gaz fazodan ($\text{Bcl}_2 + \text{H}_2$) bor utirishi bilan bor tolasi olinadi. Natijada, o'rtasi volfram boridi (WB ; W_2B_5 ; WB_4) hosil bo'ladi: diametri $15-17$ mkm. Buni atrofida polikristallik bor joylashadi. Hosil bo'lgan tola diametri hammasi bo'lib $70-200$ mkm bo'ladi. O'rta o'zagi puxtaligi umumiy tola puxtaligidan past bo'ladi. O'rta kisilgan, atrofi chuzilgan bo'ladi-bu kuchlanishga va darz ketishga olib keladi.

Bor tolalari bebaho xossalarga ega: kam zichlik ($\gamma=2600 \text{ kg/m}^3$), yetarli darajadagi yuqori mustahkamlik ($\sigma_v=3500 \text{ MPa}$). Yung moduli $420\,000 \text{ MPa}$ da va erish harorati 2300°S . Bor tolasi havoda 400°S da tez oksidlanadi. 500°S dan yuqorida matritsa-alyuminiy bilan reaksiyaga kirishadi. Buni yo'qotish va issiqbardoshligini oshirish uchun tola yuzasi kremniy karbidi bilan $3-5$ mkm kalindligida qoplanadi. Buni nomi-**borsiq**. Yuqori haroratda borsiqning puxtaligi bor tolasinikidan yuqori.



Rasm 10. Tolalar mustahkamligining haroratga qarab o'zgarishi:

- 1 – tola bordan yasalgan; 2 – borsiqdan yasalgan; 3 – kremniy karbididan yasalgan

Korxonalarda monotola shaklida g'altaklarda chiqariladi. Bor tolalari polimer va alyuminiy asosli matritsali kompozitlar ishlab chiqishda qo'llaniladi.

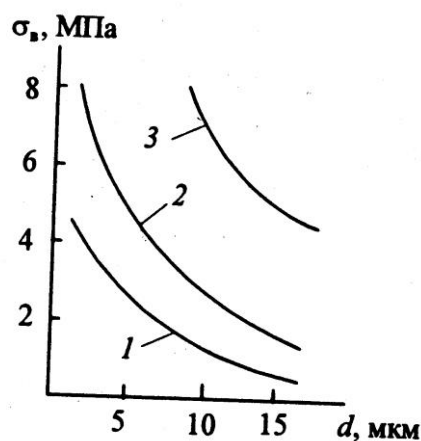
Kremniy karbidi tolalari. Olish texnologiyasi bor tolalari olish texnologiyasidan farqi yo'q.

Asos uglerod bo'lgan (o'rtasi) kremniy karbid tolalari arzon. Lekin, yuza nuqsonlariga injik, puxtaligi kamroq.

Metall matritsali yuqori haroratda ishlaydigan kompozitlarni sinchlashda qo'llaniladi.

Shisha tolalar. Eritilgan 1200-1400⁰S da shisha diametri 0,8-3 mm bo‘lgan fileradan o‘tkaziladi va tezda bir necha mikrometrgacha cho‘ziladi. Diametri 3-100 mkm bo‘lgan tola barabanga o‘raladi, uzunligi 20 km gacha. Tolaning ko‘ndalang kesim yuzasi kvadrat, to‘g‘ri to‘rtburchak, dumoloq, uchburchak va oltiburchak formada bo‘ladi. Bu zich joylashishni va yuqori puxtalikni ta’minlaydi. Shisha tolasining asosi-bu kremniy dioksididir (SiO₂). Shisha hosil qiluvchi tabiatiga qarab silikatli (SiO₂), alyumosilikatli (Al₂O₃-SiO₂), alyumobosilikatli (Al₂O₃-B₂O₃- SiO₂) bo‘ladi.

Yuqori puxtalikdagi S-shisha tarkibi: 65% SiO₂ ; 25% Al₂O₃; 10% MgO uy haroratida 4,5*10³ MPa mustahkamlikka ega. Egiluvchanligi 87*10³ Pa. Shisha tolalarining diametri ortishi bilan uning puxtaligi kamayadi.

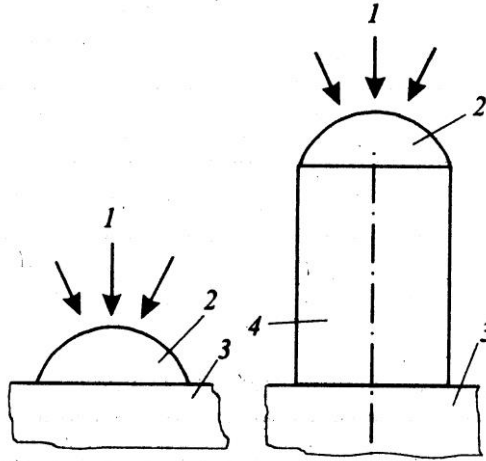


Rasm 11. Ishqorli (1), ishqorsiz (2) alyumoborosilikatli (3) oynalar mustahkamligini uning diametrigiga bog‘liqlik grafigi

Ingichka tolada mikrodarzarlar va govaklar kam bo‘ladi. Lekin, juda ingichkalari tezrok uziladi (ishlash va ishlatishda). Shuning uchun o‘rtacha 5-15 mkm olinadi.

Shisha tolalari arkon, ip, lenta, to‘qima, matolar ko‘rinishida kompozitlarni sinchlash uchun ishlatiladi.

Ipsimon kristallar (muylovlar). Karbidlar va kremniy nitridlari alyuminiy oksidi va nitridlari va boshqa qiyin eriydigan birikmalarning ipsimon kristallari gaz fazasidan transport reaksiyasi, piroliz reaksiyasi bilan chuktirib (“Osajdenie”) olinadi.

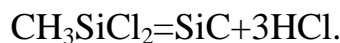
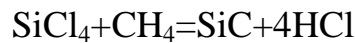


Rasm 12. Par – suyuqlik – kristall mexanizmi bo‘yicha kremniy kristallarini o‘shish sxemasi:

1 – par; 2 – Au-Si eritmasini tomchisi; 3 – kremniyli yostiqcha; 4 – kremniy kristalli

Tizim: par-suyuqlik-qattiq faza.

Kremniy karbidi ipsimon kristallari o‘shishi xlorisilan va uglevodorodlar hisobiga bo‘ladi:



Suyuq faza sifatida 3lik faza: temir-uglerod-kremniy qo‘llaniladi. **Yostiqcha (“podlojka”)** sifatida-grafit. Jarayon 1250-1350⁰S da o‘tadi.

Kremniy kristalligi diametri mikronning ulushidan bir necha 10 mikrongacha bo‘ladi. Uzunligi 60-80 mkm.

Mo‘ylovlar, ipsimon kristallarning strukturali mukammallashgan va puxtalik xossalari nazariy xossalarga yaqin.

Grafit mo‘ylovlari nisbiy puxtalik va bikirlik bo‘yicha yuqori ko‘rsatkichga ega. Lekin metall matritsada yuqori haroratda turg‘un emas.

Al₂O₃; SiS mo‘ylovlari va qiyin eriydigan birikmalar mo‘ylovlari metall matritsali kompozitlar uchun eng yaxshi puxtalovchi hisoblanadi.

Metall asosidagi tolalar bilan sinchlangan kompozitsion materiallarni olish

Har xil matritsa materiallari va turli tolalar bilan sinchlangan kompozitlarni olish usulini tanlash quyidagi faktorlarga bog‘liq:

1. Matritsa va puxtalovchilarning dastlabki materiallari o‘lchamlari, profili va tabiati;

2. Matritsa-puxtalovchi chegarasida mustahkam bog‘lanish hosil qilish imkoniyati;

3. Tolalarni matritsada bir tekisda taqsimlanishini olish;
4. Kompozitsion materialni olish va undan detal yasash jarayonlarini bir vaqt ichida olib borish (“sovmeshat”);
5. Jarayonni iktisodiy tejamkorligi.

Kompozitsion materiallarni olish usullari tolalarni eritma bilan to‘yintirish sharoitlariga qarab bo‘linadi:

1. Normal bosimda;
2. Vakuum sharoitida;
3. Bosim ostida;
4. Vakuumda to‘yintirish va bosim ostida quyish elementlari birgalikda.

Kompozitsion materiallarning xossalari shunday detallarda to‘la namoyon bo‘ladiki, qaysilarda tolalar uzluksiz joylashgan bo‘lsa. Yana iloji boricha kompozitsion materialni olish va detalni yasash bir jarayonda olib borilsa, juda maqsadga muvofiq bo‘ladi.

Alyuminiy matritsa kompozitsion materiallar

Kompozitsion materiallarni matritsasi sifatida texnikaviy alyuminiy va uning qotishmalari ishlatiladi: Am_{ts} , Am_g , AD1, D16, SAP va boshqalar. Sinchlovchi material sifatida yuqori puxtalikdagi po‘lat (08X18N9T; 1X15N4AM3; EP322 va x.k) simlari, berilliy simlari, bor, kremniy karbidi, uglerod tolalari.

Po‘lat simlar bilan sinchlangan kompozitsion material prokatlanadi. Prokatka rejimi harorat, deformatsiya yo‘nalishi va darajasi bilan aniqlanadi. Prokatlash harorati po‘latning puxtaligini yo‘qotish (“razuprochnenie”) harorati bilan aniqlanadi. Masalan, 08X18N9T va 12X18N10T po‘latlari uchun prokatlash harorati=380-400⁰S, (bu po‘latlarning puxtaligini yo‘qotish harorati=400⁰S). Shu 15X15N4AM3 va EP322 po‘latlari uchun prokatlash harorati=420-450⁰S (puxtalikni yo‘qotish $t^0=450^0C$)/

Deformatsiya yo‘nalishi prokatlashda sinchlar yo‘nalishiga qiyaroq qilib olinadi; prokatlash davrida tolalar uzilib ketmasligi uchun.

Korxonalarda kompozit KAS-1 ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yilgan. Bunda puxtalovchi-sinch 1X15N4AM3 po‘latidan yasalgan sim (diametri $d=0,15$ mm). Matritsa AV yoki SAP-1.

Po‘lat sim bilan sinchlangan alyuminiy matritsali kompozitlarning mexanikaviy xossalari.

Sinchlash natijasida kompozitsiyaning puxtaligi 10-12 marta oshadi: to‘ldirgich-simining hajmi 25% ni tashkil qiladi. Agar sinchlar hajmi 40% yetkazilsa, $\sigma_v=1700$ Mpa ga teng bo‘ladi.

Po‘lat sim bilan sinchlangan (25-40%) alyuminiy matritsali kompozitning mexanikaviy xossalari titan qotishmalari xossalariga tenglashadi.

Bu kompozitni sovuqlayin deformatsiyalab, toblab va eskirtirib, uni mexanik xossalari yanada oshirish mumkin. (Agar alyuminiy termik ishlanadigan bo'lsa).

Yuqori haroratda ishlaydigan detallar uchun matritsa sifatida SAP ni olish maqsadga muvofik.

SAP-1 ni po'lat sim(X19N9) bilan (15%) sinchlanishi, uni puxtaligini 250⁰S da 2,3 marta, 350⁰S da 3,9 marta; 500⁰S da 5,6 marta oshiradi.

Alyuminiy-bor tolasi tizimidagi kompozitlar yanada puxta va bikir, 400-500⁰S da ham bemalol ishlayveradi. Chunki, bor harorat ta'sirida puxtaligini kamaytirmaydi.

Alyuminiy bor (Al-B) tizimida kompozitlarga misol: VKA-1. Bor miqdorining ortishi bilan kompozitsiyaning puxtaligi va bikirligi ortadi. VKA-1 da 50% bor mavjud.

Agar alyuminiy borsik tolalari bilan sinchlansa, kompozitsiya puxtaligi 500⁰S da 600 MPa ni tashkil etadi. Agar borsiq hajmi 65% bo'lsa, puxtalik 1600 Mpa ga yetadi va uzoq vaqt (1000 soat) saklanib turadi; 300-500⁰S da xam.

Alyuminiy matritsa uglerod tolasi bilan puxtalangan kompozit ancha arzon, lekin mexanik xossalari pastroq.

Agar titan bilan sinchlansa, kompozitning egiluvchanlik moduli va ishlash harorati ko'tariladi.

Nikel matritsali kompozitsion materiallar

Ko'proq issiqbardosh nikel qotishmalari sinchlanadi; ishlash vaqtini va haroratini ko'tarish maqsadida (1100-1200⁰S). Puxtalovchilar: **Al₂O₃ ning ipsimon kristallari** (muylovlari), qiyin eriydigan metall va ularning volfram va molibden asosidagi qotishmalari simlari; uglerod va kremniy karbidi tolalari.

Nikel va nixrom Al₂O₃ iplari bilan kukun metallurgiyasi usulida sinchlanadi. Bunday kompozit xarakteristikasi: 9% Al₂O₃ bo'lsa, $\sigma_v=1800-2100$ MPa , nisbiy puxtalik=22-25 km.

Issiqbardosh nikel qotishmalarini volfram bilan sinchlangan kompozitlari ko'proq tarqalgan. Plastik deformatsiya usuli bilan olinadi: **prokatlash, portlatib payvandlash.**

Vakuumba issiq holda presslanadi: bir kavat issiqqa chidamli nikelxromovolframli qotishma XN60V, bir qavat Vt15 dan sim (d=0,15-0,18 mm). Shu tarzda qavatma-qavat presslanaveradi. Bu kompozit 1100-1200⁰S da ishlaydi. Bunday kompozitlarning vakili VKN-1. Matritsa: quyma issiqqa bardosh qotishma JS6K, sinchlovchi: volfram simi VA, d=0,5 mm.