

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАҲБАР КАДРЛАРИНИ  
ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ  
ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ**

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ  
МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ МАРКАЗИ**

**МАТЕРИАЛШУНОСЛИК ВА ЯНГИ МАТЕРИАЛЛАР  
ТЕХНОЛОГИЯСИ**

йўналиши

**“ИЛҒОР ФУНКЦИОНАЛ МАТЕРИАЛЛАР”**

модули бўйича

**Ў Қ У В – У С Л У Б И Й М А Ж М У А**

**Тошкент – 2016**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАҲБАР КАДРЛАРИНИ  
ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ  
ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ**

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ  
МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ МАРКАЗИ**

**“ИЛҒОР ФУНКЦИОНАЛ МАТЕРИАЛЛАР”**

**модули бўйича**

**ЎҚУВ-УСЛУБИЙ МАЖМУА**

**Тузувчилар: доктор инжиниринг, доцент Абидов А.И  
доцент Каримов Ш.А**

**ТОШКЕНТ – 2016**

Мазкур ўқув-услугий мажмуа Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2016 йил 6 апрелидаги 137-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув режа ва дастур асосида тайёрланди.

**Тузувчилар:** “Материалшунослик ва материаллар технологияси” кафедраси доктор инжиниринг А.И. Абидов  
“Материалшунослик ва материаллар технологияси” кафедраси доцент Каримов Ш.А

**Такризчи:** Южная Корея, Kumoh National institute of Technology  
PhD. prof Sungjin Kim

Ўқув -услугий мажмуа Тошкент давлат техника университети Кенгашининг 2016 йил \_\_\_\_\_даги \_\_\_\_-сонли қарори билан нашрга тавсия қилинган.

## МУНДАРИЖА

I.	Ишчи дастури.....	5
II.	Модулни ўқитишда фойдаланиладиган интерфаол таълим методлар	11
III.	Назарий материаллар .....	15
IV.	Амалий машғулот материаллари .....	71
V.	Кейслар банки.....	95
VI.	Мустақил таълим мавзулари.....	100
VII.	Глоссарий.....	103
VIII	Адабиётлар рўйхати.....	108

# І. ИШЧИ ДАСТУРИ

## Кириш

Дастур Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сон Фармонидаги устувор йўналишлар мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади. Дастур мазмуни олий таълимнинг норматив-ҳуқуқий асослари ва қонунчилик нормалари, илғор таълим технологиялари ва педагогик маҳорат, таълим жараёнларида ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш, амалий хорижий тил, тизимли таҳлил ва қарор қабул қилиш асослари, махсус фанлар негизида илмий ва амалий тадқиқотлар, технологик тараққиёт ва ўқув жараёнини ташкил этишнинг замонавий услублари бўйича сўнгги ютуқлар, педагогнинг касбий компетентлиги ва креативлиги, глобал Интернет тармоғи, мультимедиа тизимлари ва масофадан ўқитиш усулларини ўзлаштириш бўйича янги билим, кўникма ва малакаларини шакллантиришни назарда тутди.

«**Илғор функционал материаллар**» модулидан ишчи ўқув дастури металл ва нometалл материалларнинг ички тузилиши, структураси, хоссаси, ишлатилиши, маркаланиши ва бу катталикларнинг ўзаро алоқасини ҳамда уларнинг турли таъсирлар натижасида ўзгариш қонуниятлари билан боғлиқ бўлган билимларни қамраб олган.

## **Модулнинг мақсади ва вазифалари**

**Модулнинг мақсади** – тингловчиларга турли соҳаларда қўлланиладиган ва қўлланилиши режалаштирилган металл ва нometалл материалларнинг турлари, тузилиши, структураси, хоссаси, маркаланиши ва уларга термик, кимёвий – термик ва бошқа ишлов бериш усуллари бўйича йўналиш профилига мос билим, кўникма ва малакани шакллантиришдир.

**Модулнинг вазифаси** - тингловчиларда металл ва нometалл материалларнинг ички тузилиши, структураси, хоссаси, ишлатилиши ва маркаланиши ҳамда бу катталикларнинг ўзаро алоқаси, уларни турли таъсирлар натижасида ўзгариш қонуниятлари билан боғлиқ бўлган билимларни ҳосил қилишдир.

## **Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблари**

«Илғор функционал материаллар» модулини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида:

### ***Тингловчи:***

- фаннинг долзарб муаммолари;
- илғор материалшунослик ва инжиниринг фани ривожининг тенденцияси;
- материалларнинг назарий ва амалий мустаҳкамлиги;
- пластик деформацияланиши ва дарз кетиш механизми;
- материал ва буюмларни тадқиқот қилиш усуллари ва сифати;
- кристалл панжаралар ва уларнинг турлари;
- кристалл панжарадаги нуқсонлар;
- металл ва қотишмалар ҳақида **билимларга эга бўлиши лозим.**

### ***Тингловчи:***

- материалларнинг кристалланиш жараёнларинидан фойдалана олиш;
- материалларни физик, кимёвий, механик, технологик ва эксплуатацион хоссаларини таҳлил қилиш;
- материалларни тадқиқот қилиш усулларида фойдаланиш;
- икки компонентли қотишмаларни ҳолат диаграммаларини аниқлаш **кўникма ва малакаларига эга бўлиши зарур.**

### ***Тингловчи:***

- металл ва қотишмаларни олиш жараёни асосларини билиши ва улардан фойдалана олиши;
- машинасозлик соҳаларида ишлатиладиган детал, заготовка, узел ва бошқалар учун материаллар танлаб олиш **компетенцияларига эга бўлиши лозим.**

## **Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар**

“Илғор функционал материаллар” модули маъруза ва амалий машғулотлар шаклида олиб борилади.

Модулни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, педагогик технологиялар ва ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва электрон-дидактик технологиялардан;
- ўтказиладиган амалий машғулотларда блиц-сўровлар, тест сўровлари, “Ақлий хужум”, “ФСМУ”, “Кичик гуруҳларда ишлаш”, “Кейс-стади” ва бошқа интерактив таълим усуллари қўллаш назарда тутилади.

**Модулнинг ўқув режадаги бошқа фанлар билан боғлиқлиги ва узвийлиги**  
 «Илғор функционал материаллар» модули ўқув режадаги қуйидаги фанлар билан боғлиқ: “Материалларни илғор тадқиқот усуллари”, “Илғор материалшунослик ва инженеринг”.

### **Модулнинг олий таълимдаги ўрни**

Модулни ўзлаштириш орқали тингловчилар материалшунослик соҳаларида қўлланиладиган ва қўлланилиши режалаштирилган металл ва нометалл материалларнинг турлари, тузилиши, структураси, хоссаси, маркаланиши ва уларга термик, кимёвий – термик ва бошқа ишлов бериш усуллари ўрганиш, амалда қўллаш ва баҳолашга доир касбий компетентликка эга бўладилар.

### **“Илғор функционал материаллар” модули бўйича соатлар**

#### **ТАКСИМОТИ**

№	Модул мавзулари	Тингловчининг ўқув юкламаси, соат						Мустақил таълим
		Ҳаммаси	Аудитория ўқув юкламаси					
			жумладан					
			жами	Назарий	Амалий машғулот	Кўчма машғулот		
1	Хотирага эга бўлган қотишмалар	4	4	2	2			
2	Ўтказувчан полимерлар ва керамика. Термоэлектрик материаллар	8	6	2	4		2	
3	Углерод асосли материаллар	12	12	4	4	4		
4	Фазаси ўзгарувчан материаллар. Термохромик материаллар	6	4	2	2		2	
	<b>Жами:</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	

### **НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ**

#### **1-мавзу: Хотирага эга бўлган қотишмалар.**

Хотирага эга бўлган замонавий функционал қотишмаларнинг тузилиши. Механик хоссалари. Никелид титан (нитинол)нинг қўлланилиши. Хотирага эга бўлган замонавий қотишма. Нитинолнинг физик хоссаси.

Иссиқлик таъсири натижасида ўзининг аввалги ҳолатига қайтиши. Никелид титан юқори коррозиябардош ва мустаҳкамликлиги.

## **2-мавзу: Ўтказувчан полимерлар ва керамика. Термоэлектрик материаллар.**

Электр ўтказувчи полимерлар ҳақида маълумотлар. Полимер хоссалари. Диэлектрик, ярим ўтказгичли, электр ўтказувчи полимерлар. Керамик материаллар. Керамик материалларнинг хоссалари. Кислородсиз ва кислородли керамик материаллар. Уларни таркиби, хоссалари, таркиби ва структураси. Керамик материаллар олиш технологияси. Термоэлектрик материаллар ҳақида маълумотлар. Термоэлектрик материалларнинг хоссалари ва структураси. Зеебек эффекти. Термоэлектрик материаллар табиати. Иссиқликни, электр токини, ҳароратни ўлчовчи термоэлектрик материаллар.

## **3-мавзу: Углерод асосли материаллар.**

Углерод - графит материаллари ҳақида умумий маълумотлар. Углерод – графит материалларининг асосий хоссалари. Уларни фан ва техника соҳаларида қўланилиши. Углерод – графит материалларни ишлаб чиқариш технологияси. Ишлаб чиқаришда қўланиладиган асосий хомашёлар ва хомашёларга қўйиладиган асосий талаблар.

## **4-мавзу: Фазаси ўзгарувчан материаллар. Термохромик материаллар.**

Материалларнинг қаттиқ ҳолатдаги фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятлари. Термо-динамикаси, кинетикаси. Гомоген ва гетероген фазаларнинг ҳосил бўлиши. Легирловчи элементларнинг фазалар трансформациясининг критик нуқталарига таъсири. Аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми ва уни соғутишдаги ўзгаришлар.



## **АМАЛИЙ МАШҒУЛОТ МАЗМУНИ**

### **1-амалий машғулот:**

#### **Хотирага эга бўлган қотишмалар**

Модда атомлари текисликлари бўйича материалларнинг тури, ҳисоб-китобларини мавжуд жадваллар билан солиштириш. Модда атом текисликлари оралиғи бўйича унинг турини аниқлаш.

### **2-амалий машғулот:**

#### **Ўтказувчан полимерлар ва керамика. Термоэлектрик материаллар**

Алюминий оксиди асосли керамик материалларнинг микроструктураларини таҳлил қилиш ҳамда у орқали керамик материалларни сифатига баҳо бериш.

### **3-амалий машғулот:**

#### **Углерод асосли материаллар**

Углерод-графит материалларининг структура-фазавий таркиби. Структура-фазовий таркибнинг материал хоссаларига таъсири. Углерод-графит материалларининг структура-фазовий таркибини ўрганиш усуллари.

### **4-амалий машғулот:**

#### **Фазаси ўзгарувчан материаллар. Термохромик материаллар**

Фазаси ўзгарувчан материаллар. Қотишмани фазалар трансформацияси критик нуқталарига легирловчи элементларнинг таъсири мавзусидаги амалий иш материаллардаги, жумладан пўлатлардаги фазалар ўзгариши трансформациясининг критик нуқтасини аниқлаш усуллари билан танишиш ва унда критик нуқтани жойлашишига қараб легирловчи элементларнинг таъсирини ўрганишга бағишланган.

#### **Кўчма машғулот мазмуни**

Модул бўйича кўчма машғулотлар ТДТУ ҳузуридаги “Тармоқ машинашунослиги муаммолари” илмий текшириш марказида олиб бориши кўзда тутилган.

#### **Таълимни ташкил этиш шакллари**

Таълимни ташкил этиш шакллари аниқ ўқув материали мазмуни устида ишлаётганда ўқитувчини тингловчилар билан ўзаро ҳаракатини тартиблаштиришни, йўлга қўйишни, тизимга келтиришни назарда тутати.

Модулни ўқитиш жараёнида қуйидаги таълимнинг ташкил этиш шаклларидан фойдаланилади:

- маъруза;

- амалий машғулот;
  - мустақил таълим.
- Ўқув ишини ташкил этиш усулига кўра:
- жамоавий;
  - гуруҳли (кичик гуруҳларда, жуфтликда);
  - якка тартибда.

**Жамоавий ишлаш** – Бунда ўқитувчи гуруҳларнинг билиш фаолиятига раҳбарлик қилиб, ўқув мақсадига эришиш учун ўзи белгилайдиган дидактик ва тарбиявий вазифаларга эришиш учун хилма-хил методлардан фойдаланади.

**Гуруҳларда ишлаш** – бу ўқув топшириғини ҳамкорликда бажариш учун ташкил этилган, ўқув жараёнида кичик гуруҳларда ишлашда (2 тадан – 8 тагача иштирокчи) фаол роль ўйнайдиган иштирокчиларга қаратилган таълимни ташкил этиш шаклидир. Ўқитиш методига кўра гуруҳни кичик гуруҳларга, жуфтликларга ва гуруҳларора шаклга бўлиш мумкин. *Бир турдаги гуруҳли иш* ўқув гуруҳлари учун бир турдаги топшириқ бажаришни назарда тутаяди. *Табақалашган гуруҳли иш* гуруҳларда турли топшириқларни бажаришни назарда тутаяди.

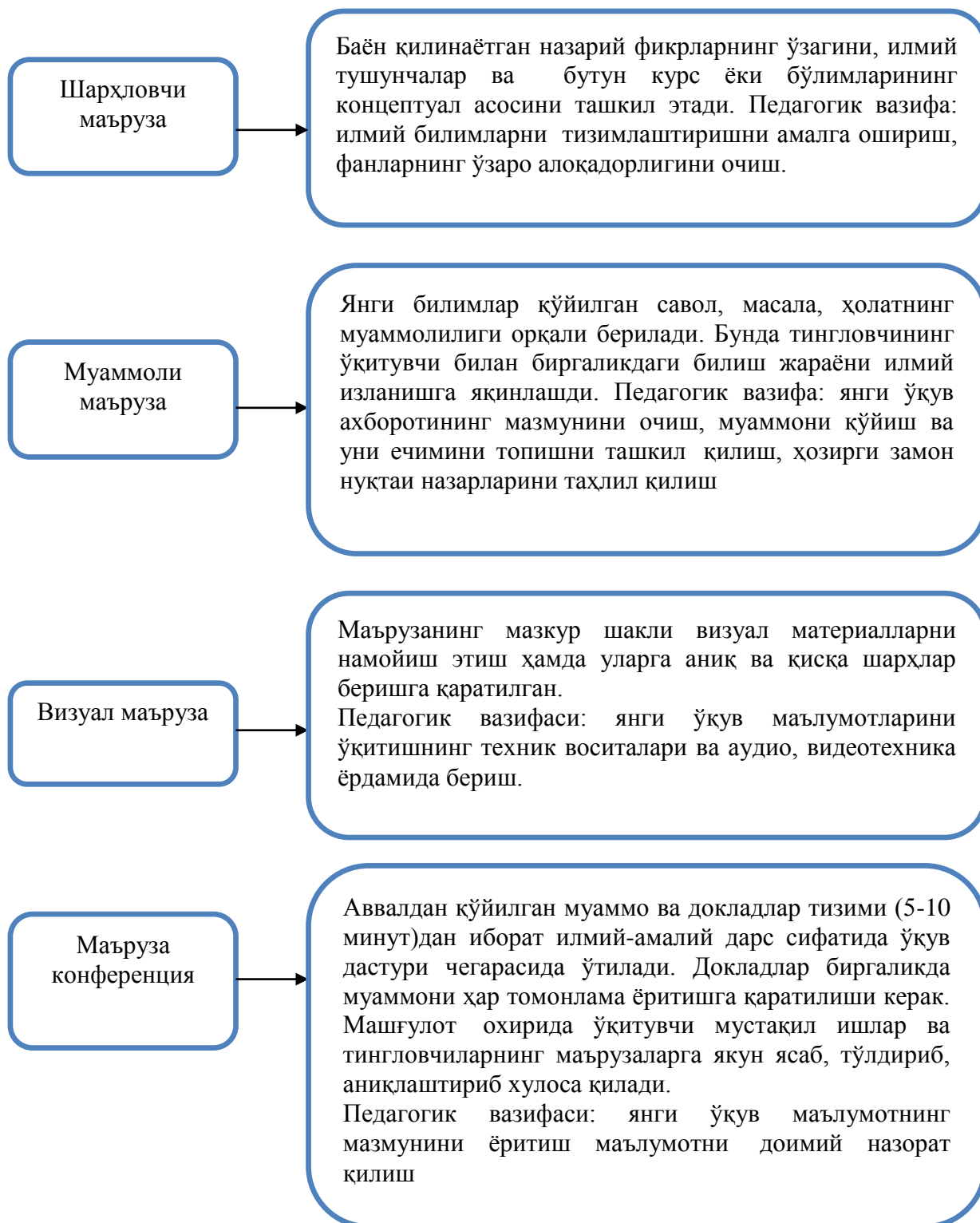
**Якка тартибдаги шаклда** - ҳар бир таълим оловчига алоҳида-алоҳида мустақил вазифалар берилади, вазифанинг бажарилиши назорат қилинади.

### Баҳолаш мезонлари

№	Баҳолаш турлари	Балл	Максимал балл
1	Кейс	1,5	2,5
2	Назарий саволлар	1,0	

## II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТЕРФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.

### Маъруза машғулоти ташкил этишнинг шакл ва хусусиятлари



## “АҚЛИЙ ҲУЖУМ” МЕТОДИ

**“АҚЛИЙ ҲУЖУМ” МЕТОДИ** - Ғояларни генерация қилиш усули. Қатнашчилар бирлашган ҳолда қийин муаммони ечишга шунингдек, ўқитувчи томонидан берилган муаммоли саволларга жавоб беришга ҳаракат қиладилар. Ўз шахсий ғоя ва фикрларини илгари сурадилар.

### Методининг ўқув жараёнига татбиқ этилиши

#### “Ақлий ҳужум” методи учун саволлар

1. Пўлат листни коррозиядан сақлаш учун қандай технологияларни таклиф этасиз?
2. Металл сиртини металл бўлмаган қайси моддалар билан қоплашда қандай инновациялардан фойдаланиш мумкин?
3. Солиштирма ҳажм детанда нимани тушунасиз ва буни изохлаб беринг.
4. Конвертрлаш нима?
5. Металлургик шлак таркибидаги асосий элементларни қайси йўл билан аниқлаш мумкин?

### ФСМУ технологияси

**Технологиянинг мақсади:** Мазкур технология иштирокчилардаги умумий фикрлардан хусусий хулосалар чиқариш, таққослаш, қиёслаш орқали ахборотни ўзлаштириш, хулосалаш, шунингдек, мустақил ижодий фикрлаш кўникмаларини шакллантиришга хизмат қилади. Мазкур технологиядан маъруза машғулотларида, мустаҳкамлашда, ўтилган мавзунини сўрашда, уйга вазифа беришда ҳамда амалий машғулот натижаларини таҳлил этишда фойдаланиш тавсия этилади.

## Методининг ўқув жараёнига татбиқ этилиши

### “ФСМУ” методи учун келтирилган фикр

**Фикр:** Мартесит ўзгаришлар содир бўлиш жараёни ҳароратини қайтиши қанчалик юқори бўлса, материалнинг шаклини сақлаш эффекти даражаси шунчалик паст бўлади.

**Ф** – фикрингизни баён этинг.

**С** – фикрингиз баёнига бирор сабаб кўрсатинг.

**М** – Кўрсатилган сабабни исботловчи мисол келтиринг.

**У** – фикрингизни умумлаштиринг.

### “Кичик гуруҳларда ишлаш” методи

Ушбу метод таълим олувчиларни фаоллаштириш мақсадида уларни кичик гуруҳларга ажратган ҳолда ўқув материални ўрганиш ёки берилган топшириқни бошқаришга қаратилган. Метод қўлланилганда таълим олувчи кичик гуруҳларда ишлаб, ўз фикрларини ифода этиши, бир-биридан ўрганиши, турли нуқтаи-назарларни инобатга олиш имконига эга бўлади. Мураббий томонидан вақт белгиланади. Таълим берувчи томонидан бир вақтнинг ўзида барча таълим олувчиларни мавзуга жалб эта олади ва баҳолайди. Амалий машғулотларни ўзлаштириш даврида “Кичик гуруҳларда ишлаш” методидан фойдаланилади. Гуруҳни кичик гуруҳларга ажратиб, мавзу юзасидан топшириқлар берилади. Гуруҳлар белгиланган вақт оралиғида топшириқни бажарадилар ва қоғозга ёзадилар. Белгиланган вақт тугагандан сўнг, бажарилган вазифалар гуруҳ вакили томонидан тақдимот қилинади. Ҳар бир тақдимотчи таълим берувчи ва тингловчилар томонидан баҳоланиб борилади. Тингловчилар баҳолаш мезонлари билан амалий машғулот бошлангунга қадар таништирилади ва баҳолаш варақалари тарқатилади. Барча тақдимотдан сўнг муҳокама бўлиб ўтади. Муҳокамада бажарилган вазифалар тўлдирилади ва хулоса қилинади.

## Методининг ўқув жараёнига татбиқ этилиши

### Мавзу юзасидан гуруҳларга бериладиган топшириқлар

**1-ГУРУҲ.** Қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятларини изоҳланг.

**2-ГУРУҲ.** Фаза ўзгаришларда фазалараро чегараларни тузилишини аниқланг.

**3-ГУРУҲ.** Фаза ўзгаришлар термодинамикасини таҳлил қилинг ва изоҳланг.

### Гуруҳлар фаолиятини баҳолаш меъёрлари.

Мезонлари	баллар			
	2	3	4	5
Мазмуни				
Гуруҳнинг фаол иштироки				
Белгиланган вақтга риоя этилганлиги				
Тақдимоти				

Баҳолаш меъёрлари: Юқори балл-20 балл

18-20 баллгача -“АЪЛО” ;

15-17 баллгача -“ЯХШИ” ;

12 - 14 баллгача -“ҚОНИҚАРЛИ”;

12 дан паст балл - “ҚОНИҚАРСИЗ”

### III. НАЗАРИЙ МАТЕРИАЛЛАР

#### 1-мавзу: Хотирага эга бўлган қотишмалар

##### Режа:

1. Хотирага эга бўлган функционал материаллар ҳақида маълумот
2. Материал шаклини сақлаш эффекти структураси
3. Г.В. Курдюмов эффекти ҳақида
4. Тиббиётда қўлланилаётган янги композицион материаллар

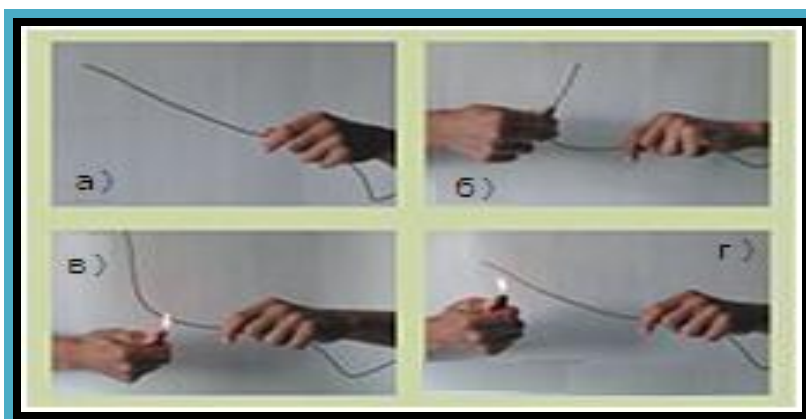
**Таянч сўзлар:** хотира, функционал, қотишма, нитинол, хосса, шакл, эффект, мустаҳкамлик, никелид, титан, мартенсит, кимё, таркиб, панжара, термик, печ, деформация, биокерамика, ҳарорат.

##### 1.1 Хотирага эга бўлган функционал материаллар ҳақида маълумот

Хотирага эга бўлган замонавий функционал қотишмаларнинг тузилиши, уларнинг механик хоссалари, шунингдек никелид титан (нитинол)нинг қўлланилиши ва унинг структурасини ўрганиш муҳим. Хотирага эга бўлган замонавий қотишма - нитинолнинг физик хоссаи - иссиқлик таъсири натижасида ўзининг аввалги ҳолатига қайтиши ҳолати мавжуд. Никелид титан юқори коррозиябардош ҳамда мустаҳкамликга эга.

**Шаклини сақлаш эффекти** – баъзи материалларни қиздириш натижасида дастлабки ҳолатига қайтиши, бошланғич деформация натижасида содир бўлади.

Бир қанча материалларда, металл қотишмалар қиздириш натижасида бошланғич деформация таъсирида дастлабки ҳолатитига қайтиш ҳодисаси содир бўлади (1-расм).<sup>1</sup>



<sup>1</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (54p.p.)

**1-расм.** а) металл сим б) сим эгилмоқда. в) сим қиздирилмоқда. г) қиздириш натижасида сим дастлабки ҳолатига қайтмоқда

Мартенсит ўзгаришлар содир бўлиш жараёнида доимий кимёвий таркибга эга бўлган материалларда шаклини сақлаш эффекти кузатилади.

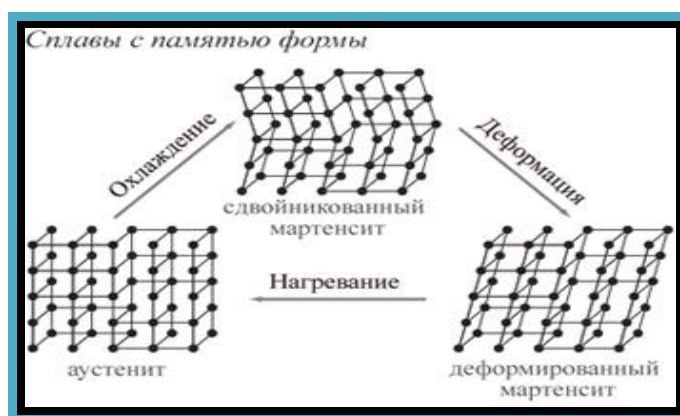
### 1.2 Материал шаклини сақлаш эффекти структураси

Материаллар шаклини сақлаш эффекти мартенсит ўзгаришлари содир бўлиши натижасида юз берада ва бу жараён икки кўринишга эга: тўғридан-тўғри ва тескари.

Материал шаклини сақлаш эффекти кимёвий таркибнинг доимийлигини таъминланиши металлургия ишлаб чиқаришида юқори технологиялар қўллаш имконини беради.

Материал шаклини сақлаш эффектти бир неча миллион цикллارга боғлиқ бўлиб, у термик ишлов натижасида кучайтириш мумкин. Материал шаклини сақлаш эффектти ҳарорат таъсирида “хотира сақлаш” бир шаклини сақласа, бошқа ҳароратда – бошқасини сақлайди (2-расм)

Мартенсит ўзгаришлар содир бўлиш жараёни ҳароратини қайтиши қанчалик юқори бўлса, материалнинг шаклини сақлаш эффекти даражаси шунчалик паст бўлади. Масалан, Fe—Ni (5—20 % Ni) мартенсит ўзгаришлар содир бўлиш жараёни ҳарорати 200—400 °С бўлиб, материални шаклини сақлаш эффекти эса паст бўлади.



**2-расм.** Материал шаклини сақлаш эффектти структураси

Материалда мартенсит ўзгаришлари кучланиш таъсирида содир бўлса, бироқ ҳароратнинг пасайиши узлуксиз давом этса, ҳар доим ҳам совутиш жараёнида макроскопик ўзгаришларни содир этмайди.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (58p.p.)



Материални шаклини сақлаш эффектти қотишмалари алоқадаги компонентларни эритиш орқали тайёрланади. Қотишма тез совутилади ва юқори ҳароратли термик ишлов бериш қўлланилади. Бундай турдаги намуналарни тайёрлаш никель титан куқунларини фарфор билан араштирилиб, вакуумда қуритилади ва пиширилади. Бунда материални шаклини сақлаш эффекти қотишмалари эластик деформацияга учрайди, бу ҳолатга материални шаклини сақлаш механик эффекти ёки юқори эластиклик деб аталади. Бу деформация пўлатларда учрайдиган пластик деформациядан 20 баравар юқори бўлади. Ушбу ҳолат юқори ҳароратли аустенит фаза ўзгаришини паст ҳароратдаги мартенсит фаза ўзгаришига ўтиши орқали содир бўлади. Фаза ўзгариш орқали содир бўлган деформация бутунлай кучланиш олингандан кейин ҳам тескари - қайтиш ҳолатига эга бўлади.

Материални шаклини сақлаш эффектти қотишмалари олдинги шаклини хотирасида сақлаб қолиш хоссасига эга бўлади. Улар олдин мартенсит фаза ўзгаришигача деформацияланиб, сўнгра юқори аустенит фаза ўзгаришигача қиздирилади, масалан, иссиқ сув ёки электр токи орқали. Қотишма трансформацияси давомида юқори кучланишга эга бўлади. Шундай қилиб, улар турли тармоқларда ўтказуци вазифасини бажаради. Материал шаклини ўзгариши фақатгина эгилиш билан чегараланмасдан, ўтказгичнинг чизиқли ўлчамларининг қисқаришига ҳам боғлиқ бўлади.

Материални шаклини сақлаш эффектти қотишмалари ичида энг кўп ўрганилгани никелид титана (нитинол) – титан миқдори – 45%, никель миқдори–55% бўлади. Формуласи  $TiNi$ . Эриш ҳарорати–1240–1310°C, зичлиги–6,45 г/см<sup>3</sup> ташкил этади. Бошланғич структураси никель титан доимий бўлиб, ҳажми марказлашган куб кристалл панжарага эга. Деформацияланиш натижасида мартенсит ўзгаришлари фазаларининг паст симметриясига олиб келади.

### **1.3 Г.В. Курдюмов эффекти ҳақида**

Нитинол (англ. *nitinol*, от англ. *nickel* –никель, англ. *titanium* – титан, англ. *Navalordnancelaboratory*, қисқар. *NO* –АҚШ денгиз артиллерияси (англ.) - лабораториясида юқори зангбардош ва эрозияга турғун никель титан

қотишмаси ишлаб чиқилди. Ҳайратланарлиги шундаки, бу қотишма юқори материални шаклини сақлаш эффектига эга.

**Нитинол** – сўзи қотишма таркибига кирувчи элементларнинг дастлабки ҳарфидан олинган. (**Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory**)

1948 йилда металлурғлар Г. В. Курдюмов и Л. Г. Хандорсонлар томонидан маълум ҳароратга қиздирилган сезиларли пластик деформацияланиш натижасида ўзининг дастлабки ҳолатини тиклайдиган қотишма таклиф этилди. 1980 йилда бу кашфиёт Курдюмов эффекти деб тан олинди.<sup>3</sup>

Агар мараққаб шаклга эга бўлган материал қизғиш ҳолатга келгунча қиздирилса, у ҳолда материал шаклини сақлаш эффекти хоссасига эга бўлади. Материал уй ҳароратигача совутилгандан кейин уни деформациялаш мумкин. Бироқ 40 °С гача у дастлабки ҳолатини сақлайди. Материалнинг бундай ҳолати унинг интерметаллит эканлиги билан изоҳланади. Тоблаш жараёнида атомлар тартибланган ҳолатга ўтади, бу эса материал шаклини сақлаш эффектига олиб келади. Никелид титандан тайёрланган элемент бир вақтнинг ўзида датчик ва бажариш механизми вазифасини ўтайди.<sup>4</sup>

Никелид титан юқори зангбардош, юқори мустаҳкам, яхши материал шаклини сақлаш эффектига эга. Юқори шаклини тиклаш коэффициентига эга ва деформация кучланиши 8 % гача бўлганда тўлиқ тикланади. Бунда кучланиш 800 МПа етади, яхши биологик мосланувчан ва юқори деформация сўндириш хоссасига эга.

Нитинолнинг камчилиги технологик хоссаларининг пастлиги ва таннархининг юқорилигидир. Унинг таркибида титаннинг мавжудлиги азот ва кислород билан бирикишига олиб келади. Оксидланиш жараёнининг олдини олиш учун вакуумларда сақланади. Бундан ташқари унинг юқори мустаҳкамликга эга бўлиши уни кесиб ишланувчанлиги қайинлаштиради. Замонавий саноатда бу қотишмадан тайёрланган буюмлар Cu-Zn-Al қотишмалар билан биргаликда кенг амалий тадбиқини топди.

---

<sup>3</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (90-100 p.p.)

<sup>4</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (120 p.p.)

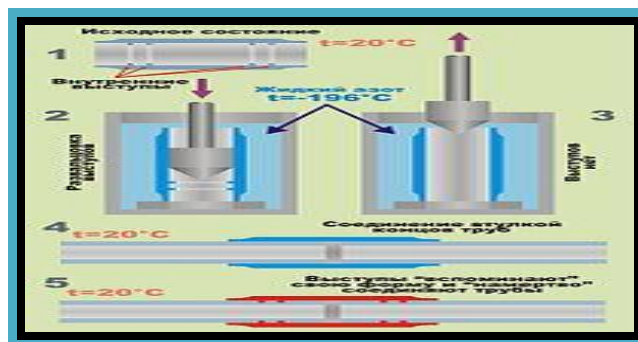
Қотишманинг шаклини сақлаш эффектти хоссаси ҳар қандай иссиқлик алмашинуви натижасида қайтар жараёни юзага келтиради. Металлга таъсир этадиган деформацияланиш натижасида бу эффект содир бўлади. Бундай таъсирга эга бўлган материаллар ЭПФ қурилмаларида кенг ишлатилади.

XX аср бошида материалнинг шаклини сақлаш эффектти 20 ортик қотишмаларда учради. Никел титан қотишмасидан ташқари қуйидаги системаларда материалнинг шаклини сақлаш эффектти аниқланди: Au—Cd —1951 йилда Иллинойс университети (АҚШ) илк бор материалнинг шаклини сақлаш эффектти аниқланган; Cu—Zn—Al — қотишмаси кенг кўламда қўлланилади; унинг мартенсит ўзгариш интервали  $-170$  дан  $100$  °C гача бўлиб, никел титанга нисбатан ҳавода тез оксидланади, осон ишлов берилади ва унга нисбатан таннархи 5 баробар арзон, лекин механик (термик ишлов беришда доналарининг йириклашуви), занггабардошлик ва технологик хоссалари паст. материални шаклини сақлаш эффектти қотишмаси Cu—Al—Ni —Осака университети (Япония) тонмонидан ихтиро қилиниб, унинг мартенсит ўзгариш интервали  $-100$  дан  $200$  °C гача, Fe—Mn—Si — системадаги қотишмаларни нархи анча арзон, Fe—Ni; Cu—Al; Cu—Mn; Co—Ni; Ni—Al қотишмалари ҳам мавжуд.

Олимларни фикрича мартенсит ўзгарувчанликка эга бўлган ҳар қандай материалда материалнинг шаклини сақлаш эффектти сақланиб қолади, ҳаттоки, титан, цирконий, кобальт каби тоза металлларда ҳам бундай ходиса учрайди.

Қотишмани эритиш вакуумно-гарнисажли ёки электр ёйли печда (гелий ёки аргон) химоя атмосферасида олиб борилади. Иккита ҳолатда ҳам шихта вазифасини прессланган Н-0 ёки Н-1 никел маркаси ва йодли титан ёки титанли губка қўлланилади.

Қуймани кундаланг кесими ва узунлиги бўйича бир текис кимёвий таркибни олиш учун қуйма икки ёки уч марта қайта эритилади. Электр ёйли печда эритишда ток кучи 1,2 кА, кучланиш эса  $-40$  В, гелий босими — 53 МПа бўлиши тавсия этилади. Қуймани дарз кетишини олдини олиш мақсадида совутишнинг мужассам режими —печ билан совутишдир ( $10$  °C/с) тавсия этилади. Сиртдаги нуксонлар жилвирловчи айлана орқали олинади. Қотишманинг ҳажм бўйича кимёвий текислигини таъминлаш учун инерт атмосферада  $950—1000$  °C ҳароратда гомогенизация ўтказилади.



**3 –расм.**1) Втулка дастлабки ҳолатда 20°C ҳароратда.2) Втулка криостатга жойлаштирилади -196°C ҳароратда. Ички бўртма жойлари плунжер ёрдамида вальцланади. Совуқ ҳолатдаги втулка ички томонидан силлиқланади. 3) Махсус тутқичлар билан втулка криостатдан чиқариб олинади ва бирикиши зарур бўлган қувурга уланади. 4) Уй ҳарорати ушбу қотишма учун қиздириш ҳарорати ҳисобланади, қиздургунга қадар барчаси автоматик бажарилади.5) Ички бўртиқлар ўзининг дастлабки ҳолатини тиклайди, тўғриланиб бириккан қувур ташқи қисмига ёриб киради.

#### **1.4 Тиббиётда қўлланилаётган янги композицион материаллар**

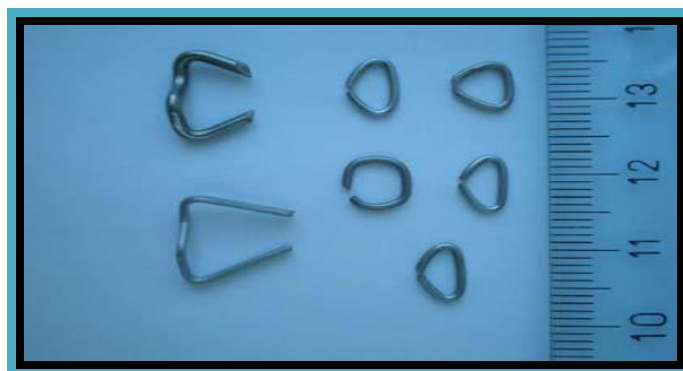
Ni-Ti-Fe таркибли ҳарбий самолётларда гидравлик трубаларни улашда ишлатиладиган втулка илк бор 1971 йилда «Рейхем Корпорейшен» (АҚШ)да ихтиро қилинган ва қўлланилган. Қирувчи самолётларнинг 300 000 яқин буғинларида бундай втулкалар ишлатилади, вахоланки, уларни ишдан чиқиши туғрисида ҳеч қачон мурожаат этишмаган. Уни функционал элементи сифатида ички буртик жойи ҳисобланади.

Ўзида 800 атм. босимни тутиб тура оладиган мустаҳкам вакуум бирикма пайдо бўлади. Бу бирикма пайвандлаш орқали бажарилади. Пайванд бирикмада металлни мустаҳкамлигининг пасайиши ва металл билан пайванд чок орасида нуқсонларнинг тўпланиши каби камчиликлар бўлмайди.<sup>5</sup>

Тиббиётда янги синф композицион материал ишлатилмоқда. Бу материал ”биокерамика–никелид–титан”. Медицинида янги турдаги композицион материаллар ишлатилмоқда. Бу композитлар никелид –титан юқори эластиклик ва материал шаклини сақлаш хоссасига эга бўлишини таъминласа, бошқаси биокерамика хоссасини таъминлайди.

Шунингдек жағ-юз хирургиясида материал шаклини сақлаш эффекти бўлган материаллар ишлатилади.

5. E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (120 p.p.)



4-расм. Жағ-юз хирургиясида ишлатиладиган материал шаклини сақлаш эффекти бўлган никелид титан қотишмасидан ясалган конструкциялар

Шу билан биргаликда тиббиётда стендлар рентгенэндоскопиясида кенг қўлланилади. Функционал камчиликларга эга бўлган сунъий пайларни активлаштиришда, сустлашган вена қон томирларини қисишдаги қисқичларга электр токи юбориш орқали реабилитациялаш ишлари бажарилади.

Италян дизайнери ялқов одамлар учун кун иссиғида секунд давомида тирсагигача йиғиладиган материал ихтиро қилди. Бундай мато кун совуши билан яна ўз холига қайтади. Матони бундай хусусияти материал таркибида нитинолнинг (NiTi) борлиги билан изоҳланади. Бундай матодан тайёрланган кўйлакни дазмоллашга зурурият бўлмай, 30 секунд давомида у яна ўзини асл холига келади. Бундай таннархи юқори бўлган “ялқовлар кўйлаги” ҳозирги кунда мавжуд.

«FranceTelecom» ва «Philips» эгасини ҳис-ҳаяжонини кўрсатувчи сенсорли симсиз дисплейли эгилувчан усти-бошлар экспременталь моделларини ишлаб чиқишди. Энг қизиқарлиси канадалик Н. Стедманни “ақлли” кўрпаси 40 та тактилли датчиклар ёрдамида хўжайинни ўзи топиб, ўзи уни ўраб қўяди.<sup>6</sup>

Бир қанча амалиётчилар “ақлли” кийим атрофидаги шов-шувларни сунъий реклама ҳисоблашади. Бироқ корейс давлат экспертлари баҳосига кўра 2014 йилда жаҳон “ақлли” кийимлар бозори 7 миллиард долларни ташкил этади. Шу сабабга кўра Жанубий Корея бу бозор 20% назоратга олишга, давлат “ақли” кийимлар бозорини давлат ҳимоясига олинганини эълон қилди. 2004 йилдан бошлаб Жанубий Кореяда бу соҳада актив

<sup>6</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (98-100 p.p.)

изланишлар илмий-тадқиқот ташкилотлари, университет ҳамда тижорат бирлашмалари ҳамкорлигида олиб борилмоқда.

### **Назорат саволлари:**

1. Хотирага эга бўлган функционал материаллар ҳақида маълумот, уларни ишлаб чиқариш, таркиби, хоссалари ва ишлатилиши қандай?
2. Материал шаклини сақлаш эффекти структураси қандай амалга оширилади?
3. Г.В. Курдюмов эффекти қандай ?
4. Тиббиётда қўлланилаётган янги композицион материаллар санаб ўтинг ?

### **Фойдаланилган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007

## **2-мавзу: Ўтказувчан полимерлар ва керамика. термоэлектрик материаллар**

### **Режа:**

1. Ўтказувчи полимерлар. Уларнинг қўлланилиши, хоссалари ва структураси
2. Керамика.Керамик материаллар ҳақида умумий маълумотлар
3. Кислородли ва кислородсиз керамика
4. Термоэлектрик материаллар

*Таянч сўзлар:* хотира, функционал, қотишма, полимер, хосса, шакл, эффект, мустаҳкамлик, никелид, титан, мартенсит, керамик, таркиб, панжара, термик, печ, деформация, биокерамика, ҳарорат, термоэлектрик

### **2.1 Ўтказувчан полимерлар**

Металларни полимерлардан фундаметал хусусияти – электр ўтказувчанлиги билан фарқланади. Ўз навбатида металлар юқори

ўтказувчанлик, яъни  $10^4$  дан  $10^6 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  диапазонда, полимерлар эса, асосан изоляторлар, уларда ўтказувчанлик  $10^{-14} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  дан ортмайди. Металллардан электрон қурилмаларнинг асосий қисм деталлари тайёрланса, полимерлардан эса изоляторлар ёки диэлектриклар тайёрланади. <sup>7</sup>

Бундан 10 йил аввал Э.Дж. Хайгер, Э.Г. Мак-Диармид ва К Шарикова нинг Пенсильвания университетида полимерларда ўтказилган тадқиқотлар натижасида уларнинг ички ўтказувчанлигини аниқладилар. Бойитилган полимерлардан ўлароқ, ўтказувчи полимерлар уларга ўтказувчи элементларни физик йўл билан эмас, балки кимиёвий усул билан қўшиш ёки лигерлаш билан амалга оширилади. Бу қўшимчалар ўтказувчан эмас. Бу материалларни хоссаларини ўрганиш уларни қўллашни улкан потенциалларини кўрсатиб бермоқда. Кўпгина имкониятлар реал кўриниш тусини олмақда. Масалан: Германиянинг «Варта» ва BASF ҳамда Япониянинг «Шова денко» фирмалари ўтказувчи полимерлардан батареялар ишлаб чиқармоқда. Охириги пайтда BASF фирмасида Х. Наарман бошчилигидаги группа тадқиқотчилари полиацетилен асосидаги полимерда темир ва платинадан юқори ўтказувчанликка эришдилар.

Бу материалларни кенг қўллашдан аввал бу ажойиб хусусият қаердан пайдо бўлди деган саволга жавоб излаш зарур бўлади. Аввал айтиб ўтганимиздек ташқи юқори ўтказувчанлик полимер таркибига ўтказувчи элементлар, яъни металл чанглари кўшиш билан эришилади. Бу қўшимчалар ўтказувчанлиги  $10^{-6} \text{ ом}^{-1}$  дан  $10 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  атрофида бўлади. Бу ташқи ўтказувчи полимерларни қўллашнинг электроника билан чамбарчас боғланган. Бойитилган полимерлар микротўлқинларни сингдиришда қўлланиши мумкин.

Одатдаги электрўтказувчи полимер материаллар (ЭОМ) оз таркибига ҳар хил полимерларни олади, (термо ва реакторлар, резиналар электр ўтказувчи тўлдирувчи элементлар (кўмир, графит, углеродли, металл, металлашган толлалар, металл пудра) ва антистатик ишланмалар фойдаланилади.

Электромагнитли ҳимоя қобиғи, юқори омли регистрлар электрик нометалл қиздирувчилар ток ўтказувчи лак, гель.

---

<sup>7</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (250 p.p.)

Бирламчи электрик хоссаларига кўра электр ўтказувчи деб ҳисобланади. Электр ўтказувчи материаллар кичик материаллар ҳисобланади.  $10^6$  ом·см ўтказувчанлик катта  $< 10^3$  ом·см ўтказувчанлиги уқ $10^3$ - $10^{-10}$  ом $^{-1}$  см $^{-1}$  яримўтказгичлар  $u > 10^{-10}$  ом $^{-1}$  х см $^{-1}$  диэлектриклар.ЭПМ ўз ўтказувчанлиги билан (полиацетелин, полиолимен, полипарафин) электроўтказувчан бўлиб охир оқибат кимёвий ўзаро таъсирланиш электрон доналар билан ёки электр акцептрларга пантефтамид , мышьяк,  $A_5F_5$  тетроцианетилен ўтказувчанлиги ЭПМни ўтказувчанлиги етиб бориши мумкин.

Молекуляр электроника 2 турга бўлинади электроактив полимер материаллари ўтказувчанлиги билан  $10^9$  дан  $100$  ом $^{-1}$  х см $^{-1}$  га. Электроактив полимерларнинг ишлатилиши (пластик материаллар, синтетик материаллар материаллар) бирикмалар туташуви, ярим ўтказувчанлик хусусияти оқибатида орбитал ёпилиши стимуляция учун электр ўтказувчанлиги полимерлардан фойдаланиш Молекулаларнинг реакциясидан кейин юкни полиэтилен плёнка қобик шаклидан **шинага** айланади мисол учун  $NaBH+CO(NO_3)_2$   $80^0C$  кейин  $30^0C$  атмосферага <sup>8</sup>

Плёнка ташқаридан алюминий фольгани эслатади эластиклиги полиэтилен. Металлик католлизаторлар қийин ўтказувчанлик Р-типидаги мусбат заряд трилион марта катталаштирилганда ток ўтказувчанлиги мышьяк, хлор, бромлар ўтказувчанлиги ортади.

Калий ва натрий ASFS (1% дан кўп тез ўтказувчанлиги полимер листлар полиэтилен билан тўйинтирилганлар қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиради ва ФИК юқори ва кремний қуёш панелари билан тенглаша олади. Термоқотоллизатордан кенг ўтказувчанлик  $10^5$  ом $^{-1}$  х см $^{-1}$ ) га етади. Ацетилендан фарқли ўлароқ перрол тошқўмирлардан смола ТКИК  $130^0C$  полимерланувчи католик системалари.

## **2.2 Керамика. Керамик материаллар ҳақида умумий маълумотлар.**

Нометалл керамик материаллар деб юқори температураларгача қиздириш йўли билан олинган ноорганик минерал материалларга айтилади. Ноорганик материалларни  $1200$ – $2500^0C$  ҳараоратларгача қиздириш натижасида керамиканинг майда кукун заррачалари бир– бири билан ёпишиб

---

<sup>8</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 260-265 p.p.)



материалнинг ички фазовий структурасини ҳосил қилади, бунинг натижасида эса кукун материал бир бутун ўзига хос физик–механик хоссаларга эга бўлган керамик материалга айланади.

Техник керамика ўзида ҳар–хил кимёвий бирикма ва фазовий таркибга эга бўлган сунъий олинган керамик материаллардан ташкил топган, у ўзига хос комплекс хоссаларга эга. Бундай керамик материаллар ўз таркибида минимал миқдорда лой ёки умуман лойсиз бўлиши мумкин. Керамик материалларнинг асосий таркибини оксидлар ва металлларнинг кислородсиз бирикмалари ташкил этади. Ҳар қандай керамик материал кўп фазали таркибга эга бўлиб, унда кристаллик, шиша ва газ–ҳаво фазалари бўлиши мумкин.

Керамик материаллардаги кристаллик фазаларни, асосан химёвий бирикма ёки қаттиқ қотишмалар ҳосил қилади. Бу фазалар керамик материалнинг асосини ташкил этиб унинг физик–механик ва кимёвий ҳамда махсус хоссаларини белгилаб беради.<sup>9</sup>

Керамик материалнинг структурасидаги шиша фазалар, эса материални ташкил этувчи заррачалар оралиғида жойлашган бўлиб, уларни бир бирига қисман боғловчи вазифасини ўтайди. Ҳар қандай керамик материал таркибида 1–10% гача шиша фазаси бўлиши мумкин. Материалда шиша фазасининг кўпайиши бир томондан уни механик мустаҳкамлигини пасайтирса, иккинчи томондан унинг технологик хоссаларини оширади.

Керамик материалдаги газ – ҳаво фазаси материалнинг заррачалар оралиғидаги бўш коваклариди бўлади. Шунга кўра керамик материал ғоваксиз ёки ғовакли керамик материалларга бўлиниши мумкин. Ғоваксиз керамик материал таркибида газ – ҳаво фазаси ёпиқ ҳолда бўлади. Керамик материалдаги ҳаттоки ёпиқ газ – ҳаво фазасини бўлиши материалнинг механик хоссаларини кескин пасайтиради. Айрим ҳолларда керамик материалда махсус равишда ғоваклар қолдиришади, бу унинг товуш ва иссиқлик изоляцисини хоссаларини оширади.

Аксарият техник керамик материаллар умуман ғовакликга эга бўлишмайди уларни махсус технология ёрдамида ишлаб чиқаришади.

---

<sup>9</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 260-270 p.p.)

**Соф оксидли керамик материаллар** Керамик материалларини ишлаб чиқариш жараёнида асосан қуйидаги соф металллар оксидлари қўлланилади:  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $BeO$ ,  $TiO_2$  бундай керамик материалларнинг асосий таркиби бир фазали бўлиб у полукристаллик структурага эга. Ундаги жуда кам миқдордаги қўшимчалар газ – ҳаво ва шиша фазаларда қисман намоён бўлади. Соф оксидларнинг эриш температураси  $2000^\circ C$  шунинг учун улар юқори иссиқбардош материаллар сафига киради. Албатта барча керамик материаллар сиқилишга юқори бардош бўлиб улар эгилиш ва чўзилишга сустр каршилиқ кўрсатишади. Майда донали кристалл керамик материаллар йирик кристалли керамик материалга нисбатан анча мустаҳкам бўлади. Чунки йирик кристалларнинг бир – бири билан бирикиш жойларида ички қолдик энергия ички зўриқиш кучланишларини ҳосил қилади.

Ҳарорат ўзгариши билан аксарият керамик материалларининг мустаҳкамлиги пасайиб боради. 5.1–расмда керамик материалларининг мустаҳкамлик чегарасига қиздириш ҳароратининг таъсирини кўрсатувчи диаграмма келтирилган.

### **2.3 Кислородли ва кислородсиз керамика**

#### **Кислородли керамиканинг эгилишдаги мустаҳкамлиги.**

Керамик материалларининг афзаллик томонларига уларнинг оксидловчи ёки агрессив муҳитларда қиздирилганда хоссаларини йўқотмаслиги ва ҳаводаги кислород таъсирида оксидланмаслиги киради. Оксидли керамик материаллар одатда кислородга эга бўлганликлари учун улар очик ҳавода юқори температураларгача хоссаларини сақлаб қоладилар.

Алюминий оксиди  $Al_2O_3$  асосли керамик материаллар. Алюминий оксиди юқори мустаҳкамликга, кимиёвий турғунликга ва ажойиб электр изоляция материали ҳисобланади. Алюминий оксиди механик мустаҳкамлигини юқори температураларгача сақлаб қолади. Корунд материали температура ўзгаришларга бардоши сустроқ. Ҳозирги пайтда алюминий оксиди асосли конструкцион материаллар кўплаб соҳаларда ишлатилмоқда жумладан ундан: металлларга ишлов берувчи кескичлар, қолиплар, филерлар, юқори температураларда ишловчи печлар деталлари, печ конвейрларининг подшипниклари, насос деталлари ва автомобил свечалари ишлаб чиқарилмоқда. СМ – 332 Карунддан материали хоссалари бўйича бошқа асбобсозлик материалларидан устун туради, унинг зичлиги  $3960 \text{ кг/м}^3$ ,

сиқилишдаги мустаҳкамлиги 5000 МПа, қаттиқлиги 92–93 НРА, иссиқлик бардошлиги эса 12000 С ташкил этади.<sup>10</sup>

Цирконий оксиди ( $ZrO_2$ ) Корундга нисбатан инерт табиатга эга бўлган оксид бўлиб у асосан 2000–2200° С температураларгача ишлай олади. Цирконий оксидидан асосан металлларини эритиш учун тигеллар, кимёвий реакцияларни ўтказиш учун реакторлар, иссиққа бардош деталар ва қопламлар қоплашда қўлланилади.

Калций ва магний оксиди асосли керамик материаллар. Бу керамик материаллар ҳар–хил металлларнинг шлаklarига кимёвий турғун материал бўлиб иссиқликга бардоши бошқа керамик материаллардан пастроқ. Юқори температураларда магний оксиди учиш хоссаларин калций оксиди эса нам ва сувни ютиш хоссаларини намоён қилади. Бундай керамик материалрдан асосан тигиллар ва футировкалар тайёрланилади.

Бериллий оксиди асосли керамик материаллар. Нисбатан иссиқлик ўтказувчилиги яхши материал бўлгани учун унинг иссиққа бардошлиги юқори, лекин механик мустаҳкамлиги пастроқ материал ҳисобланади. Бериллий оксиди асосли керамик материал юқори энергияли ионлашган нурларни ёйиб сўндириш, иссиқ нейтронларни сўндириш коэффициенти юқори хусусиятига эга. Ундан асосан соф металлларни эритиш тигиллари, вакуум ускуналарининг керамик деталлари ва термоядровий реакция ўтказувчи реакторлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. Уран ва тори оксиди асосли керамик материаллар. Бу оксидлар жуда юқори эриш температурасига эга материаллар бўлиб улар жуда юқори зичликка ва радиактив нурларни чиқариш хусусиятига эга. Бундай керамик материаллар асосан радий, платина, иридий ва шунга ўхшаш металлларни эритиш учун тигиллар ишлаб чиқарилади.

Соф оксидли керамик материалларнинг асосий хоссалари жадвалда келтирилган.

**Кислородсиз керамик материаллар** бирикмаларга асосан қийин эрийдиган металлларнинг  $MeC_x$  ва нометалларнинг углерод билан бириккан  $MoC_x$  карбидлари, бор билан бириккан  $MeB_x$  баридлари, кремний билан бириккан  $MeSi_x$  силсидлари ҳамда олтингугурт билан бириккан  $MeC_x$

---

<sup>10</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (285 p.p.)

сульфидлари киради. Бундай бирикмалар жуда юқори иссиққа бардошлиги (2500 – 3500°C), қаттиқлиги ва ейилишга бардошлиги билан аҳамиятга сазовордирлар. Уларнинг асосий камчилиги уларнинг мўртлигида. Карбид ва боридларнинг оксидлашга бардошлиги 900 –1000°C ташкил қилса нитридларники 800°C силисидлар эса 1300–1700°C гача қиздирилганда ҳам оксидланмайди.

**Карбидлар.** Карбидлар ишлаб чиқаришда кенг тарқалган материал бўлиб, улардан асбобсозлик материали, ейилишга бардош қопламалар олишда кенг қўлланилади. Ишлаб чиқаришнинг деярли барча соҳасида қўлланиладиган карбидларга Си мисол бўла олади. Ундан қаттиқ образив материал сифатида жилвирлаш тоши ва қоғози ишлаб чиқаришади. У жуда қаттиқ ва кислоталарга бардош материал ҳисобланади ундан печларнинг қиздиргичлари стерженга ўхшатиб ишлаб чиқаришади.<sup>11</sup>

**Боридлар.** Бу бирикмалар қисман металллик хоссаларни намоён қилишади. Улар яхши электр ўтказувчан, ейилишга бардош, қаттиқ ва оксидланишга бардош материал ҳисобланади. Техникада қийин эрийдиган металллар боридлари кенг қўлланилади (масалан ЗрБ2 ва бошқалар). Уларни кремний ёки силисид билан лигерлаш орқали агрессив муҳитларда иссиққа бардошлигини 2000°C етказиш мумкин Церкони бариди лигерлангандан кейин эриган алюминий, мис, пўлат ва чўянларга бардош материал бўлади. Ундан асосан 2000°C да ишлайдиган кимёвий саноат реакторлар қозонини, ҳарорат ўлчаш термопараларни титан эритиш қозонларини ишлаб чиқаришда ишлатишади.

**Нитридлар.** Нометалл нитридлар асосан юқори температурали материал ҳисобланади улар паст иссиқлик ва электр ўтказувчанликка эга, оддий ҳароратда унинг электр қаршилиги жуда юқори бўлса юқори ҳароратда ярим ўтказгич хоссаларини намоён қиладилар. Ҳарорат ортиши билан уларнинг кенгайиш коэффициентини ва иссиқлик сиғим коэффициентини ортиб боради. Нитридларнинг қаттиқлиги ва мустаҳкамлиги карбид ва боридларнинг қаттиқлигидан биров пастроқ. Улар вакуум шароитида қиздирилганда секин асталик билан парчалана бошлайдилар. Нитридлар эриган металлларнинг таъсирига бардош ҳисобланади.

---

<sup>11</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 290-295 p.p.)

**Бор нитриди.** Оқ кукун материали бўлиб техникада «оқ графит» номи билан таниш. У ?– БН кристалл модификатсиясига эга бўлиб, гексоганал графит кристан панжарасига ўхшаб қат–қат жойлашган бўлиб графит каби жуда юмшоқ материал. У барча оксидловчи, қайтарувчи ва нейтрал муҳитларга бардош кукун материал бўлиб иссиқбардош кукун сифатида қўлланилади. Унинг кукунидан қиздириб пишириш орқали олинган материаллар диелектрик бўлиб 1800°С ҳароратда кислородсиз жойда ишлайди. Юқори тозаликда олинган нитрид йердан космосга учуриладиган. Нитрид борнинг бошқа кристалл модификатсияси ? – БН бўлиб, у алмоССИФАТ куб нитрид бори деб аталади. Уни техникада «эльбор» номи билан танишади. Эльборни юқори босим ва 1360°С температурагача қиздириш ёғли билан каттализатор орқали олишади. Бу материалнинг зичлиги 3450 кг/м<sup>3</sup> га тенг эриш температураси эса 3000°С. У олмос материали билан рақобатлаша оладиган материал бўлиб ҳавода 2000°С оксидланмайди. Бу хоссаси билан олмосдан устун туради. (олмос 800°С температурада оксидлана бошлайди).

**Кремний нитриди.**  $Cu_3N_4$  – кимёвий формулага эга бўлиб бошқа нитрид бирикмаларига караганда 1600°С қиздирилганда ҳам ҳавода ва бошқа оксидловчи муҳитга анча турғун ҳисобланади. Иссиққа бардошлиги ва арзонлиги билан у иссиққабардош пўлатлардан устун туради. Кремний нитрид деярли 10 баробар иссиққабардош пўлатлардан арзон. У мустаҳкам, ейилишга бардош иссиққа бардош материал бўлиб ундан асосан ички ёнув двигателларининг поршен қоплами, ковакларини ҳамда ейилишга, иссиқликга бардош қоплама сифатида қўлланилади.<sup>12</sup>

**Силитсидлар.** Силитсидлар карбидлардан ва боридлардан фарқли ўлароқ ярим ўтказгич хоссаларини намоён қилишади, улар кислота ва ишқорларга турғун. Уларни 1300 – 1700°С температураларда қўллаш мумкин бўлиб, улар 1000°С гача қиздирилганда эриган қўрғошин, қалай ва натрий билан киришишмайди. Улардан юқори 1700°С гача температураларда ишловчи электр қаршилик қиздиргичлар ишлаб чиқарилади. Масалан  $MoCu_2$  молибден силсид кукунидан ҳар–хил шароитларда ишловчи газ турбина парраклари, автомобил вкладышлари, сирпаниш подшипниклари ва қаттиқ

---

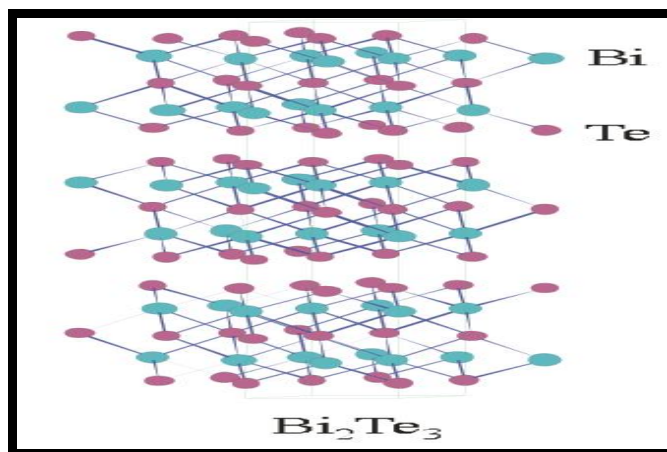
<sup>12</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 265 p.p.)

мойлаш материаллари сифатида қўлланиши мумкин. Бундан ташқари унинг кукунидан иссиққа бардош, ейилишга бардош, ҳар–хил кислота ва ишқорларга бардош қопламалар қоплашда кенг фойдаланилади

**Сулфидлар.** Сулфидли бирикмалардан ишлаб чиқариш ва техникада фақат молибденнинг дисулфиди кенг қўлланилади. Унинг кукуни асосан ишқаланишга қарши кўрсатувчи материал сифатида турли мақсадларда қўлланиладиган минерал ва синтетик мойларга солинади. Бундан ташқари у антифрикцион хоссаларини ҳавода – 150 дан 435°C ҳароратда ҳам сақлай олади. Ваккумда эса у 1540°C температурада ҳам антифрикцион хоссаларга эга бўлади. Молибденнинг дисулфиди электр токини ўтказувчи магнитлашмайдиган кукун материали бўлиб у ҳавода 450°C қиздирилганда ўздан олтингугуртни чиқариб оксидлана бошлайди. Аксарият нормал шароитларда у сувга, барча минерал ва синтетик мойларга ҳамда кислота ва ишқорларга турғун.

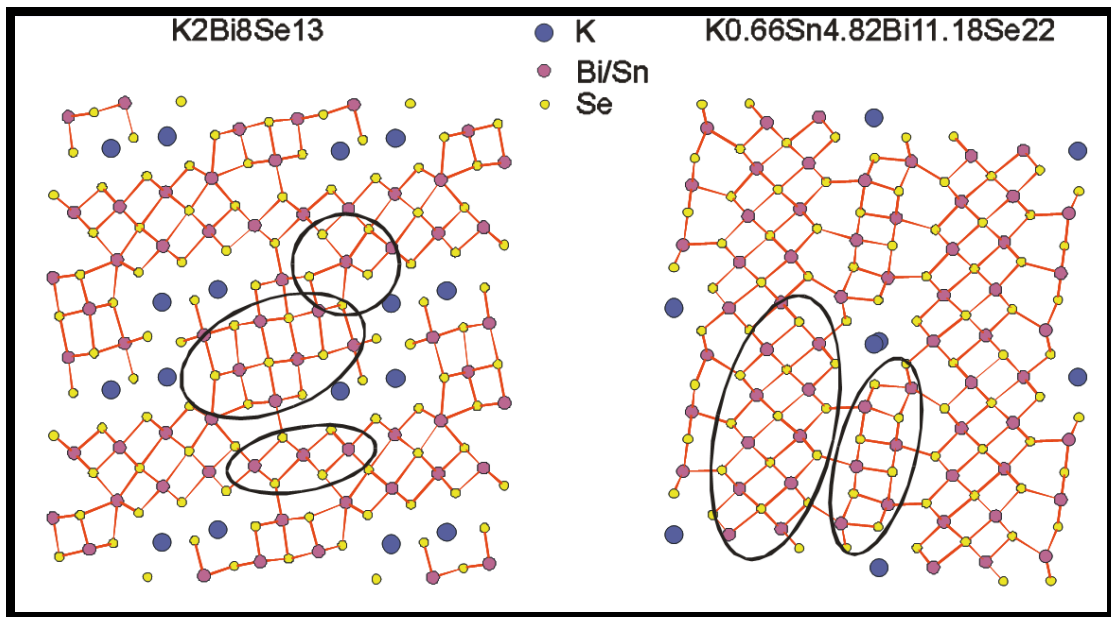
#### 2.4 Термоэлектрик материаллар.

Замонавий термоэлектрик материаллар 1950 йилларда яратилган бўлиб, уларнинг асосини  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ташкил этиб унга Sb, Pb, I қўшиш билан олинади. Улар  $160\text{K} < T < 350\text{K}$  ҳароратда ишлатилиши мумкин. Бу материалларни кристалл панжараси қуйидагича кўринишда бўлиши мумкин.

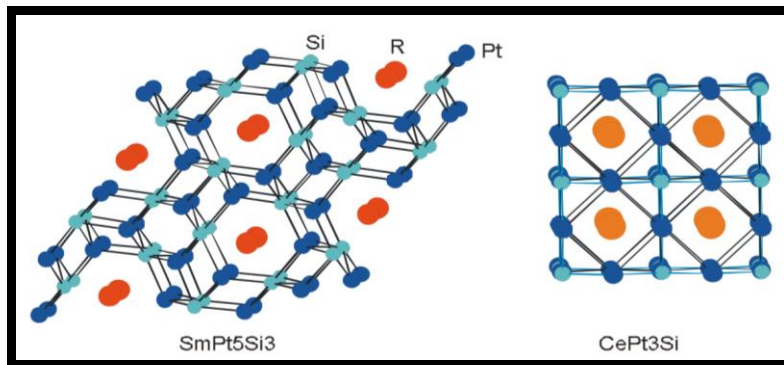


Термоэлектрик материаллар ИК-детекторларни соғутишда, РС – процессорларда, соғутиш сумкаларида, компрессори ва фреони йўк соғутгичларда, микротўлқинли печларда, қўлланишай мумкин. <sup>13</sup>

<sup>13</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (460 p.p.)



Кондо эффектли интерметаллид структураси



Супермолекуляр архитектуралар

Термоэлектрик материаларни супермолекуляр архитектуралар ичидан излаш «Фонон ойнаси-электрон кристалл» концепсиясида ташкил топган. Унинг янги номи «Нанохужайрали материалар» дейилади.

***Фонон шишаси, электрон кристалл.***

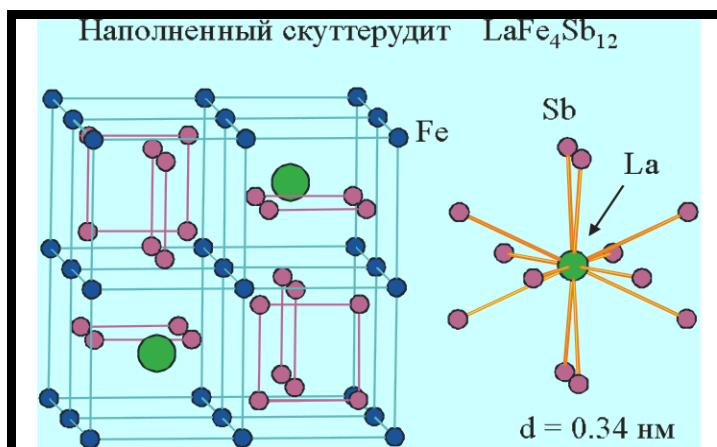
Кристалл ўтказувчи каби электрни яхши ўтказиш қобилиятига эга бўлган моддалар, иссиқликни эса шишага ўхшаб яхши ўтказма олмаган моддалар (Слек 1995).

Чекланган ҳажмда тебраниш ва эркин айланиш қобилиятига эга бўлган кучсиз боғланган атомлар ва молекулалар, иссиқликни ўтказишни камайтириш учун ишлатилади. Бу ҳол фононларни эффектив тарзда тарқатиш ҳисобига электр ўтказувчанлигига таъсир кўрсатмайди. Чунки электр ўтказувчанлик ковалент боғланган каркас билан боғлиқ.

***Мустақил оптималлаштириш***

Электр ўтказувчанлик ва иссиқлик ўтказувчанлик.

Супрамолекуляр скуттерудитлар- минерал таркиби  $\text{CoAs}_3$ , умумий формулага эгадир- $\text{AM}_4\text{E}_{12}$ .



Скуттерудитлар хоссалари:

Юқори кўрсаткичлар:

ZT қ 1.4 да 298 К и  $ZT \approx 2$  да 600 К

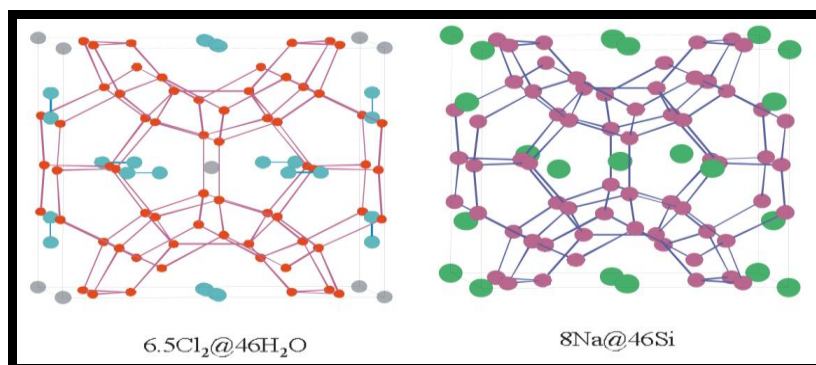
учун  $\text{RFe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$ , бунда R қ La, Ce ёки Yb

- Совутиш чекланиши  $\approx 150 \text{ К}$
- $T < 77 \text{ К}$  да ишлатиш мумкин эмас
- янги оптимизация йўллари номаълум

Клатратлар

Клатратларда боғланишлар мавжуд. Уларда битта таркибига кирувчи бошқаси билан кучли боғламасиз ўралган. Клатрат – газ гидратлари 1810 йилдан бери маълум.

Клатратларнинг структура



Назорат саволлари:

1. Ўтказувчи полимерлар, уларнинг қўлланилиши, хоссалари ва структураси ҳақида тушунча беринг.
2. Керамик материалларга таъриф беринг.



3. Кислородли ва кислородсиз керамикани қиёсланг.
4. Термоэлектрик материалар нима?

#### **Фойдаланилган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007
5. Kostorz, Gernot., Phase transformation in materials, Wiley-VCH 2005

### **3- мавзу: Углерод асосли материаллар**

#### **Режа:**

1. Графит ва унинг структураси
2. Углеграфит материалларнинг қўлланилиши
3. Углерод асосли материалларни ишлаб чиқариш технологияси

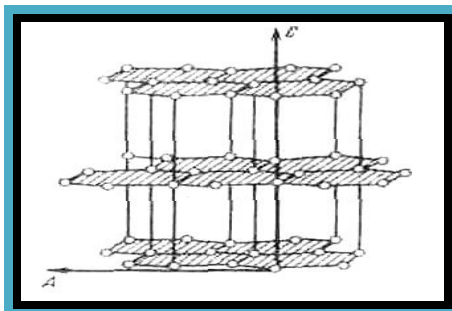
*Таянч сўзлар:* хотира, функционал, қотишма, полимер, хосса, шакл, эффект, мустаҳкамлик, никелид, титан, мартенсит, керамик, таркиб, панжара, термик, печ, деформация, биокерамика, ҳарорат, термоэлектрик

#### **3.1 Графит ва унинг структураси**

Графит углероднинг аллотропик турларидан бири бўлиб у қатламли (иккита кетма-кет такрорланувчи) кристаллик тузилишга эга материал. Унинг кристалли паралел равишда жойлашган гексоганал ячейкадан иборат. Ячейканинг тугунларида жойлашган углерод атомларининг орасидаги масофа 0,143 нм бўлиб улар бир-бири билан мустаҳкам ковалент боғланган. Параллел қатламлар орасидаги масофа 0,335 нм бўлиб, улар Ван-дер-Вальс кучлари таъсирида жуда саёз боғланган. Графит структурасининг қатламли тузилиши оқибатида кристаллнинг бир-бирига қарама-қарши перпендикуляр йўналишларда барча хоссаларининг анизотропияси келиб чиққан.

Кристаллнинг параллел жойлашган пластинкалари орасида эркин электронлар бўлиб улар материалга электр ўтказувчанликни ҳамда металлларга ўхшаш ялтроқлик хусусиятини беради. Графит структурасидаги

хар-бир қатлам яъни панжара қалинлиги графит атомининг диаметрига тенг. 4.1 - расмда графит структурасининг атом боғланишлар схемаси тасвирланган.



4.1 - расм. Графит кристалл панжарасининг тузилиши

Умуман олганда графитда икки турдаги кристалл панжара ҳосил қилиш имконияти мавжуд: гексоганал ва ромбейдирик. Иккала тур панжараларда ҳам асосий элемент текис қатлам ҳисобланади. Бу панжараларни ҳар-хил жойлашувидан турли турдаги панжараларни ҳосил қилиш мумкин бўлиб уларнинг хоссалари бир-биридан кескин фарқ қилувчи графит материалларини олиш имкониятини беради. Бундан ташқари битта графит материалида бир вақтнинг ўзида икки хил кристалл панжара бўлиши ҳам мумкин.

**Графитнинг физик-механик хоссалари.** Графитнинг физик-механик хоссалари материалнинг келиб чиқиши ҳамда уни ишлаб чиқариш турига боғлиқ бўлиб бунда уни ишлаб чиқаришда қўлланган (агар у сунъий ишлаб чиқарилган бўлса) ясалган хомашё муҳим аҳамиятга эга.

Графит жуда осонлик билан кристалл қатламидан ажралади. Унинг қаттиқлиги пастроқ бўлиб НВ 150-250 атрофида. Ғовакликка эга бўлган графит зичлиги  $200-1200 \text{ кг/см}^3$  оралиғида бўлиши мумкин. Аксарият конструкцион мақсадларда қўлланиладиган графит материалининг зичлиги эса  $1500-1850 \text{ кг/см}^3$  ва унданда юқори бўлиши мумкин.

Пирограит материалининг зичлиги табиий графит зичлигига яқин бўлиб у  $1950-2200 \text{ кг/см}^3$  ташкил этади.<sup>14</sup>

**Пиролитик графит.** Бу кукун материал асосан углерод мавжуд бўлган газсимон хомашёлардан олинади. У  $1000-1200^\circ \text{C}$  гача қиздирилган керамик материал юзасига чўктирилган металл газининг пиролиз маҳсулоти

<sup>14</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (280 p.p.)

ҳисобланади. Бунда чўктирилган пирографитдан турли мақсадларда ишлатиладиган графит материали ёки ундан ҳосил қилинган ҳимоя қатламларини олиш мумкин.

Техник графит материалларининг сифати ва хоссаларини яхшилаш мақсадида рекристаллик қиздириш амалга оширилади бунда пирографит 50 МПа босим остида 2500° С температурагача қиздирилади бунинг натижасида графит материалнинг зичлиги ортади. Графит материалнинг зичлиги ортиши натижасида унинг механик хоссалари кескин ортиши кузатилади. Бундай технология билан ишлаб чиқарилган графит материали юқори температураларда эксплуатация қилиниши мумкин.

Ҳозирги пайтда кукун металлургия корхоналарида қуйидаги маркали графит ва углеграфит материаллари ишлаб чиқарилмоқда: ПРОГ- нефт кокси асосида ишлаб чиқариладиган графит материали; ПГ-50 –пирографит асосида ишлаб чиқарилган ғовак графит материали. Бу графит материалларининг асосий хоссалари 4.1- жадвалда келтирилган.

Графит қисман мўрт материал ҳисобланиб унинг сиқилишдаги мустаҳкамлиги эгилишдаги мустаҳкамлигидан юқори. Металл материаллардан фарқли ўлароқ графит материалларга хос хусусиятларидан бири, шундаки улар қиздирилганда мустаҳкамлиги ва бикрлик модули ортиб боради, масалан техник графит 2200-2400°С гача қиздирилса унинг мустаҳкамлиги 50-60% ортади, ундан юқори ҳароратларда эса унинг мустаҳкамлиги кескин тушиб кетади.

Графит материаллари 1700° С ҳараоратгача қиздирилганда унинг оқувчанлиги пайдо бўлади. Температура ортиши билан графит материалларнинг мустаҳкамлик чегарасининг ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма 4.1 - расмда келтирилган.

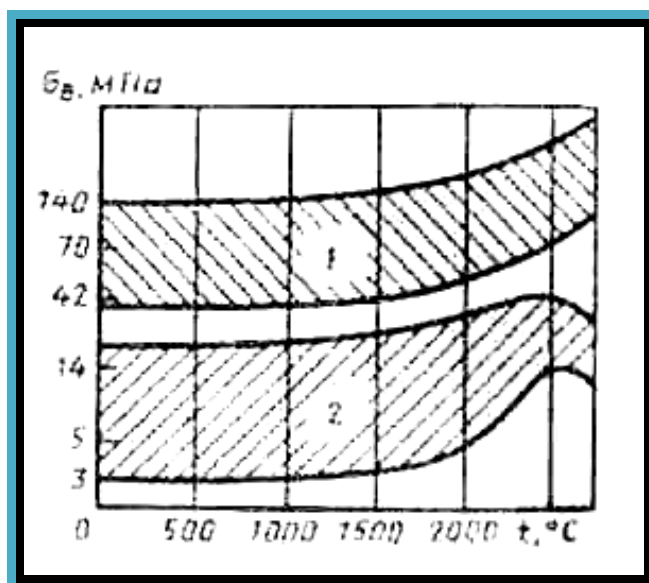
4.1-жадвал

#### Графит материалларининг асосий хоссалари

Графит тури	Зичлиги, кг/м <sup>3</sup>	Ғоваклиги, %	Мустаҳкамлик чегараси, МПа	Бикрлик модули, ГПа	Иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/(м·К)	Кенгайиши, $\alpha \cdot 10^{-6}$
-------------	----------------------------	--------------	----------------------------	---------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

			чўзилишга	сиқилишга	эгилишга	
ПРОГ	1640	24	10	50	17	8
ПГ-50	1020	52	3,8	11,6	7,5	1,7
Пирографит	2000	1,5	114	105	105	112

Графит иссиқликни яхши ўтказди  $\mu$  қ 1,16 — 3,5 Вт/(м · К) шунинг учун б материални ҳам иссиққабардош материал сифатида ишлатиш мумкин. Бундан ташқари бошқа материаллар ичида унинг иссиқдан кенгайиш коэффициентини жуда кичик бўлгани учун улар иссиққабардош зичлагич ёки антифрикцион материал сифатида юқори температураларда ишлайдиган деталларни яшашда жуда қўл келади.



4.1 - расм. Графит материаллар мустақкамлик чегарасининг температурасига боғлиқлиги.

Графит материали асосан кукун ҳолда жуда антифрикцион материал ҳисобланади. Шунинг учун ундан ишқаланишга қарши подшипник ёки втулкалар ишлаб чиқарилади. Унинг ишқаланиш коэффициенти  $f$  қ 0,28 га тенг. Графит материалларидан ясалган подшипниклар юқори ёки жуда паст температураларда мойсиз ишлайди.

Графит материалнинг асосий камчиликларидан бири бу - улар юқори температураларда ҳаводаги кислород билан кимёвий реакцияга киришиб аста-секин газ ҳолатида ажралиб куй бошлайди. Шунинг учун кислородли муҳитларда ишлайдиган графит материалларининг юзалари бошқа материаллар билан қопланади.

### **3.2 Углеграфит материалларининг қўлланиши.**

Графит ёки углеграфит материаллари ҳозирги кунда техника ва технологиялар жараёнида қўлаб ишлатиладиган материаллар туркумига кириб унинг барча соҳаларда қўлланилиши кундан кунга ортиб бормоқда. Масалан графит материали ўзидан электр токини ўтказиш қобилиятига эга бўлгани учун ундан турли электротехник материаллар ишлаб чиқарилса, унинг антифрикцион хоссалари улардан сирпаниш подшипники ишлаб чиқаришга имконият яратади.

Графит материаллари қўлланилишига кўра қуйидаги материалларга бўлинади: Электротехник ва электрод материаллари; антифрикцион материаллар; конструкцион материаллар; кимёвий турғун материаллар ва шунга ўхшаган материалларга бўлинади.<sup>15</sup>

**Электротехник ва электрод материаллар.** Электротехник ва электрод материаллари деб асосан ўзидан электр токини ўтказишга мўлжалланган материаллар туркумига айтилади. Бунда электрод материалнинг бир учидан ток жўнатилиб иккинчи учидан уни ишлаш жойига узатишдан иборат бўлади. Шунга асосланган ҳолда ундан: электр щеткалар, металлларни эритишда (электр дуга) печларининг электродлари, термик ёки кимёвий термик ишлов бериш учун турли печларнинг қиздиргичлари ва шунга ўхшаш деталлар ишлаб чиқарилади.

Электрод материалларини ишлаб чиқарувчи корхоналарда бу материалнинг тўртта тури ишлаб чиқаридали. Бундай материаллар қуйидаги гуруҳларга бўлинади:

1. Углерод электрод материаллари
2. Кокс электрод материаллари
3. Графит электрод материаллари
4. Графитланган электрод материалларига бўлинади.

---

<sup>15</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (450 p.p.)

Углеродли электрод материаллари асосан углероднинг антрацит деб номланадиган туридан ишлаб чиқарилади. Бу турдаги материаллар кимёвий таркибида ҳар-хил турдаги қўшимчалар миқдори кўп бўлиб, ультра юқори электр қаршиликга ва паст иссиқлик ўтказувчанликка эга материал ҳисобланади.

Кокс электрод материаллари таркибида нисбатан қўшимчалар миқдори камроқ бўлиб уларнинг электр ўтказувчанлиги яхши аммо иссиқлик ўтказувчанлиги ёмон материал ҳисобланади. Кокс электродлари асосан иссиққабардош материаллар бўлиб улар металл эритишда жуда қўл келадилар

Графит электродлари асосан табиий ёки сунъий графит материалларидан ясалган бўлиб улар барча хоссаларига кўра бошқа турдаги электрод материалларидан хоссалари яхши материал ҳисобланади. Графит электродлари кокс кукунларидан ишлаб чиқарилган бўлиб улар графитлашув технологик жараёнидан ўтказилган бўлади.

Углеграфит материаллари саноатда кенг қўлланилади, ундан сифатли пўлат, алюминий ва бошқа рангли металл ҳамда уларнинг қотишмаларидан тайёрланган материалларини ишлаб чиқаришда ва ҳар-хил абразив материалларни ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Углеграфит электрод материалларини кўплаб, йилига бир нечта минг тонналаргача ишлатадиган корхоналар металлургия, алюминий ишлаб чиқариш ва кимёвий ишлаб чиқариш корхоналари киради. Бунда пўлат ишлаб чиқаришга электр ёйини ҳосил қиладиган электрод ҳисобланса, алюминий ишлаб чиқаришда графит катод вазифасини ўтайди.

**Агрессив муҳитларга бардошли углеграфит материаллари.** Оддий атроф-муҳит ва унчалик юқори бўлмаган температураларда углеграфит материаллари деярли барча кислота ва ишқорларга турғун материал ҳисобланади.

Графит материали ўзига хос ажойиб физик- механик хоссалардан ташқарикўпчилик муҳитларда коррозиябардош материал ҳисобланади. Шунинг учун ундан кимёвий корхоналарда ишлатиладиган асбоб-ускуна ишчи деталларини ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилади.

Бунда асосий эътибор графит материалнинг ишлов берилаётган материал ёки агрессив кимёвий суюқликлар билан мутлақо

таъсирлашмаслиги инобатга олинади. Барча турдаги графит материаллари турли материалларга ишлов берувчи дастгоҳларда ишлов бериш имконияти бўлгани учун ундан конструкцион деталлар ишлаб чиқишда кўл келади.

Графит материалдан агрессив муҳитларда ишловчи насос роторлари, зичловчи ҳалқалар, иссиққабардош торецли зичлагичлар, рэактор камералари, кислота ва ишқорларни ҳайдовчи қувурлар ва шунга ўхшаган деталлар ишлаб чиқарилади.

Графит материалнинг кимёвий турғунлиги улардан турли моддаларни пуркаш учун саплолар, фарсункалар, филлерлар, плиталар ва турли реакторлар деталларини ишлаб чиқаришда ишлатилади.

**Антифрикцион углеграфит материаллари.** Маълумки кўпчилик корхоналарида ишлатиладиган дастгоҳ ва қурилмаларда мойлаш чегараланган ёки мутлақо таъқиқланган бўлади. Бундай ҳолларда шарикли думаланиш подшипникларни ишлатиш ёки уни у ерга лойиҳалаб жойлаштириш имконияти чекланган бўлгани учун антифрикцион сирпаниш подшипниклари ишлатилади.

Антифрикцион подшипниклар асосан ишқаланиб ишлагани учун шарик подшипникларга қараганда тезда ишдан чиқиб қолади. Бунинг асосий сабабларидан бири ишқаланиб ейилиш ҳисобланади. Ишқаланиб ейилишга бардош бўлиши учун материалларнинг ўзига хос табиий хоссалари бўлиши керак бундай хоссаларга антифрикцион хосса деб аталади. Графит материаллари барча материалларга қараганда антифрикцион хоссалари жуда юқори ҳисобланади шунинг учун ундан сирпаниш подшипниклари ишлаб чиқарилади. Буни устига графит материалнинг ўзи мойловчи материаллар туркумига киради. Демак, графит материалдан ишлаб чиқарилган сирпаниш подшипниклари ишлаш жараёнида ўз-ўзини мойлаб туриш хусусиятига эга экан шунинг учун улар шарикподшипник материаллари каби узок муддат ишлаб туриши мумкин.<sup>16</sup>

Ҳозирги пайтда бундай материалларни ишлаб чиқариш ва корхоналарда қўллаш жуда жадаллик билан ривожланаяпти. Ишлаб чиқаришда ишлатиладиган углеграфит асосли антифрикцион материаллар

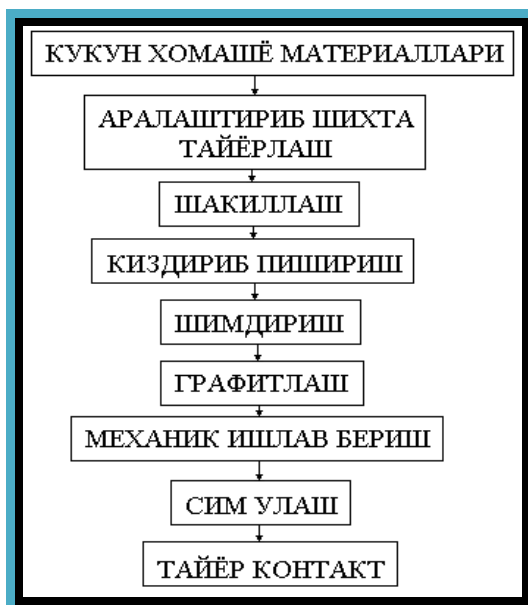
---

<sup>16</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (230-240 p.p.)

марклари ОГ-600, АОГ- 1000 ва АОГ-1500 материаллари ҳисобланади. Бу материаллар антифрикцион хоссалага эга материаллар ҳисобланади

### 3.3 Углерод асосли материалларни ишлаб чиқариш технологияси

Углерод асосли материаллар асосан кукун металлургиясининг технологик усуллари ёрдамида ишлаб чиқарилади. Углерод асосга эга бўлган электротехник материал ишлаб чиқариш технологиясини кўриб чиқамиз. 75 кВ қувватига эга бўлган электрмашина учун «Г» сирпаниш контакт материаллини маҳаллий хомашёдан ишлаб чиқариш технологик босқичлари ва жараён параметларини кўриб чиқамиз. Г – маркали графит сирпаниш контакт материаллини ишлаб чиқариш технологик босқичлари 4.2-расмда схематик равишда келтирилган.



4.2-расм. Г – маркали сирпаниш контакт материаллини ишлаб чиқариш технологияси

**Хомашё материаллари ва уларни ишлаб чиқаришга тайёрлаш.** Барча турдаги углергафит материалларин ишлаб чиқариш учун асосий хомашё табиий ёкий сунъий равишда олинган углерод материаллар. Табиий углерод материалларга антрацит ва табиий графит киради. Углеграфит материалларини ишлаб чиқаришда хомашё таркибини деярли 70-80% сунъий равишда олинган углерод материаллари ташкил этади.

Сунъий углерод материаллари одатда углерод бирикмаларига эга бўлган органик газ ёки суюқликлардан ҳамда қаттиқ моддалардан ишлаб чиқилади. Углерод бирикмаларининг газ ҳолатдаги материалларни қайта ишлаш натижасида турли маркаларга эга бўлган сажа (углерод кукун)



ишлаб чиқарилади, суюқ бирикмалардан эса- нефт кокси ишлаб чиқарилади. Хомашё материалининг физик-механик ва бошқа махсус хоссалари улардан ишлаб чиқарилган материалнинг физик-механик хоссаларини белгилаб беради. Чунки, ишлаб чиқарилган материал билан уни ишлаб чиқаришда қўлланган хомашёнинг физик-механик хоссалари бир-бири билан чамбарчас боғлиқ бўлади. Углеграфит материалларини ишлаб чиқариш учун зарур бўладиган хомашёларни шартли равишда икки гуруҳга бўлиш мумкин: қаттиқ кукун углерод хомашёлари, боғловчи углерод хомашё материаллари ва қўшимча легирловчи кукун материаллари.

Графит материалларини ишлаб чиқаришда у ёки бу турдаги хомашёни танлаш юқорида айтиб ўтилганидек ишлаб чиқарилаётган материалга қўйилган талабга боғлиқ равишда танланилади. Чунки ҳар бир углерод хомашё материаллари ўзига яраша физик-механик хоссаларга эга бўлиб улар материалнинг бўлғуси хоссаларини белгилаб беради, мисол: сирпаниш контакт материалларида графит кукун деярли 80-90% ни ташкил этиши керак. Бундай бўлиши материалнинг электр ўтказувчанлиги билан боғлиқ. Графит материалларнинг электр ўтказувчанлиги углерод материалларнинг электр ўтказувчанлигидан анча яхши. Аммо ишлаб чиқарилаётган материал таркибида графит материалнинг ортиб кетиши унинг мустаҳкамлигига салбий таъсир кўрсатади, чунки графит одатда юмшоқ бўлиб углерод материалларга қараганда мустаҳкамлиги паст. Шунинг учун материалнинг барча хоссалари бир-бири билан уйғунлашган ҳолда унга хомашё рецептураси танланади. <sup>17</sup>

**Антрацит** - бу углеграфит материалларини ишлаб чиқаришдаги асосий хомашё бўлиб уни электротехник, электрод, иссиққабардош ва металлларни эритиш учун ишлаб чиқариладиган тигил графит ва шунга ўхшаган материалларини олишда асосий материал таркибига қўшилади. Антрацит қўшилиши, ишлаб чиқарилаётган материалнинг электр ўтказувчанлигини ва иссиққабардошлигини оширади. Коксдан фарқли ўларок антрацит қўшилган графит материалнинг механик хоссалари бироз юқори кўрсаткичга эга бўлади. Бу эса мустаҳкам графит блокларини ишлаб чиқаришга имконият яратади.

---

<sup>17</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (450-455 p.p.)

Хомашё сифатида қўлланиладиган антрацит куйидаги талабларга жавоб бериши керак: юқори электр ўтказувчан, юқори механик мустаҳкамлик, иссиқбардошли, кам қўшимчали бўлиб унда олтингугурт миқдори бўлмаслиги талаб этилади.

Атрацит материалининг асосий камчилиги шундаки, улар қиздирилганда иссиқликдан дарзлар ҳосил қилишга мойил бўладилар, унинг бу хусусияти қиздириш тезлигига боғлиқ бўлиб қиздириш тезлиги ортиши билан дарзлар сони ортади. Атрацитнинг бундай хусусияти ундаги кристалл ўзгаришлари билан боғлиқ. Шунинг учун рецепт таркибида унинг фоиз миқдори чегараланган қийматларда бўлади.

**Графит** - кукун материали деярли барча углеграфит материалларини ишлаб чиқаришда қўлланилади (айниқса электротехник материалларда). Графит кукун углеграфит материалларини ишлаб чиқаришда турли мақсадларда қўшиш мумкин бўлиб улардан энг асосий материалга юқори электр ўтказувчанлик бериш ва материални антифрикцион хоссаларини ошириш. Қўшилган графит материали ишлаб чиқарилаётган углеграфит материалнинг механик хоссаларига таъсир қилиб уни бироз бўлсада пасайтиради. Бундан ташқари графитнинг бошқа углерод материалларига қўшилиши натижасида кукун аралашмасини прессслаб ишқалланишига яхши таъсир кўрсатади. Бунинг учун кокс ва бошқа компонентлардан иборат бўлган хомашё материалга 4-6% графит кукунни қўшилади.

Графит кукун материалнинг асосий кўрсаткичларига ундаги бегона қўшимчалар миқдори ва кукун заррача ўлчамларининг бир-хиллиги ҳисобланади. Табиий қазиб олинadиган графит хомашё материалларида қўшимчаларнинг бўлишлиги табиий бўлиб, улар қай жойдан қазиб олинганлиги билан изоҳланади. Табиий графит таркибида ҳамма вақт селикатлар, кварц ва калцит бўлади. Аммо буларнинг миқдори графит қазиб олинган жойга боғлиқ. Графит материалнинг таркибидаги қўшимчалар унинг барча хоссаларига ёмон таъсир кўрсатади бу эса ундан ишлаб чиқарилган материалнинг хоссаларида ўз изини қолдиради.

**Кокс** – бу углеграфит материалларини ишлаб чиқариш учун энг зарур хомашё материали бўлиб уни икки турда бўлиши мумкин: биринчи тури нефт кокси бўлиб нефт маҳсулотларини қайта юқори температурада ҳайдалишидан ҳосил бўлган қолдиқ бўлиб унга нефт кокси дейилади;

иккинчи тури бу тошкўмирни ҳавосиз жойда қайта қиздириб ҳайдалишидан ҳосил бўлган тошкўмир печининг чиқинди маҳсулоти, унга тошкўмир печ кокси дейилади.

Нефт коксининг хоссалари уни ишлаб чиқаришда қўлланилган нефт хомашёсининг таркиби ва турига боғлиқ. Шунинг учун нефт кокси икки турга бўлинади: крекинг ва пиролиз нефт кокси. Бундан ташқари уларни қайта ишлашда қўлланиладиган дастгоҳ ва технологик параметрларга кўра улар ҳам бир нечта турга бўлинилади. Бу эса углеграфит материалларинг хоссаларига таъсир кўрсатади. Крекинг ва пиролиз кокслари микроструктураси ишлаб чиқарилаётган углеграфит материалининг хоссаларига таъсир кўрсатиб уларни эксплуатацион хоссаларини белгилаб беради.

**Тошкўмир смоласи.** Углеграфит материалларини ишлаб чиқаришда боғловчи материал сифатида асосан юқори температураларда қиздирилган пайтда кокс ҳосил қилувчи суюқ ёки 70-80° С қиздирилганда суюқладиган материаллар ишлатилади. Бу материаллар таркиби углероднинг органик ёки ноорганик бирикмалари бўлиши шарт, чунки бундай бирикмалар юқори темпреатураларгача қиздириш жараёнида кокс ҳосил қилиб майда кукунлардан ташкил топган материални бир бири билан мустаҳкам боғланишини таъминлайди.

Ҳозирги пайтда барча турдаги углеграфит материалларини ишлаб чиқариш учун асосан тошкўмир смоласи қўлланилади. Тошкўмир смоласи қиздирилганда суюқланиш температурасига қараб ҳар хил турларга бўлинади. Углеграфит материалларини ишлаб чиқариш учун асосан тошкўмир смоласининг 50 -70 °С да суюқланадиган туридан фойдаланилади. 2.1-жадвалда Г – маркали сирпаниш контакт материалини ишлаб чиқариш учун зарур бўлган хомашё материаллар турлари ва уларнинг шихта таркиби келтирилган.

2.1-жадвал

Г – маркали сирпаниш контакт материалининг шихта таркиби

Кукун хомашё материаллари	Сифат талаби	Рухсат этилган олтингугурт миқдори, %	85% кукун заррача ўлчами, мкм,	Шихтадаги миқдори, %
Графит	ГОСТ7478-	-	30	75

	75			
Кокс	ТУ 1234-786	0,035	15	7
Антрацит	ГОСТ 3457-81	-	15	7
Смола	ТУ 1567-056	0,055	-	3
Мис	ГОСТ 4960-75	-	15	8

**Хомашё материлларини ишлаб чиқаришга тайёрлаш.** Кукун материаллари корхона омборхоналарида талабга жавоб берадиган шароитларда сақланиши керак бўлиб улар узоқ вақт давомида сақлангани боис ўзига намлик ютиб олиши ва бунинг натижасида кукунлар бир бирига ёпишиб қолиши ва шунга ўхшаш нуқсонларга эга бўлиб олишади. Бу нуқсонлар ишлаб чиқарилаётган материалнинг физик-механик хоссаларига кучли салбий таъсир кўрсатади. Шунинг учун ҳар қандай кукун хомашё материални сақланиш муддатидан қатъий назар бир қатор ишлаб чиқаришга тайёрлаш технологик жараёнларидан ўтказишади. Кукун хомашё материалларига бериладиган тайёрлов технологик жараёнлар ва уларнинг асосий параметрлари 2.2-жадвалда келтирилган<sup>18</sup>

2.2-жадвал

Кукун материлларни ишлаб чиқаришга тайёрлаш технологик операциялар турлари ва уларнинг режимлари

Кукун турлари	Тайёрлаш технологик операцияси	Технологик операция режимлари
Мис кукуни	Элакдан ўтказиш	Элак сеткасининг рақами 009
	Қайта тиклаб қуритиш	Водород муҳити, қиздириш ҳарорати 600-730°C, ушлаб туриш вақти 0,5 – 2 соат

<sup>18</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (450-455 p.p.)

Графит, кокс ва антацит кукуни алохида	Майдалаш	Шарли тегирмонларда, 150 ай/мин, 24-44 соат
	Элакдан ўтказиш	Элак сеткасининг рақами 016-0045
	Қуритиб юмшатиш	Водород муҳити, қиздириш ҳарорати 1000-1100°C ушлаб туриш вақти 1-2 соат
Тошқўмир смоласи	Аралаштириш	Ўз идишида 60-70 °C қиздириб тез-тез 1-2 соат давомида чайқатиш

Ишлаб чиқариш турига кўра кукун хомашё материалларини ишлаб чиқаришга тайёрлашдаги қуритиш жараёни тўхтамасдан ишловчи печлардан фойдаланиш мумкин. Бу печлар ичидаги муфели ўз ўқи атрофида айланиб туради ва ундаги қиздириш температураси 1000-1100 °C бўлиб бу кукун материалларни қуритиш учун кифоя ҳисобланади.

Кукун материаллар қуритилгандан кейин улар керакли даражада фракцияларга ажратилади. Фракцияларга ажратиш асосан механик тебраниб турувчи элакларда амалга оширилади. Бунда ҳар-хил ячайкаларга эга бўлган элаклар бўлиб, улар кукун ўлчамларига биноан фракцияланади ҳар бир фракция ўз идишларига қуйилиб йирик заррачалар майдалаш бўлимасига элакдан ўтган кукунлар шихта тайёрлаш бўлималарига жўнатилади.

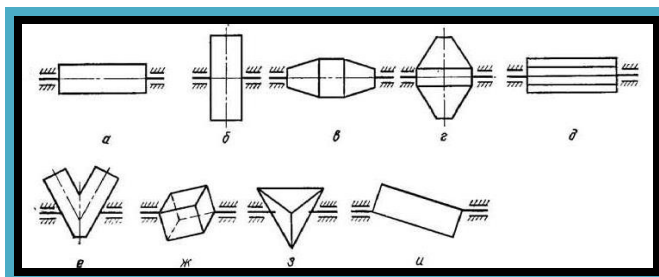
**Кукун хомашё материалларини аралаштириб шихта тайёрлаш.** Кукун материалларини бир-бири билан аралаштириш технологик жараёни муҳим жараёнлардан бири бўлиб, унинг тўлиқ бажарилиши турли кукунларни бир-бири билан аралаштириш даражаси билан аниқланади. Кукунларнинг бир-бири билан юқори даражада аралаштириш усули ва аралаштириш вақти билан аниқланади. Кукун материалларни бир-бири билан аралаштириш усуллари жуда кўп бўлиб, шулардан кукун металлургиясида кенг тарқалган турларига: шарли тегирмонларда аралаштириш, катта идишларда чайка шоркали аралаштириш, ёпик идишларни планетар ҳаракат орқали аралаштириш ва яна бир қатор шунга ўхшаш турларга бўлинади.

Шихта материалнинг таркибига кўра аралаштириш: бир маротаба (фақат қуриқ кукунлар) ёки икки маротаба (сувоқлик хоссага эга бўлган

компонент) аралашти. Агар шихта таркиби фақат кукун материаллардан ташкил топган бўлса бир маротаба аралаштириш кифоя ҳисобланади, аммо кўпхолларда кукун компонентдан ташқари суюқ компонент ҳам киритилади. Бундай ҳолларда олдин кукун компонентлар бир-бири билан аралаштирилади кейин эса улар суюқ компонент билан аралаштирилади.

**Бирламчи аралашмани тайёрлаш.** Бирламчи аралашмани тайёрлаш деганда асосан фақат кукун материалларни бир-бири билан аралаштириш тушунилади. Графит материалларини ишлаб чиқаришда (2.1-жадвалга қаранг) олдин кукун материаллар: графит, кокс, антрацит ва мисс кукунлари бир-бири билан аралаштирилади.

Контакт ишлаб чиқаришда бирламчи аралаштириш асосан катта идишларда чайқаш орқали амалга оширилади. Чайқаш жараёнида кукун солинган идишлар шакли турлича бўлиши мумкин (2.2-расм). Идишлар ўз ўқи атрофида маълум тезлик атрофида айлантирилади. Буни натижасида идишнинг шакли қанча мураккаб бўлса, идиш ичидаги кукунларнинг аралаштириш ҳаракати шунча мураккаб бўлади. Агар идишлар оддий шаклга эга бўлса (2.2-расм, а ва д) идишнинг ичига аралаштрувчи жисмлар киритилади. Бундай жисмлар шар, квадрат ёки цилиндр шаклида бўлиши мумкин. Улар кукунларни бир-бири билан аралаштиришни таъминлайди.

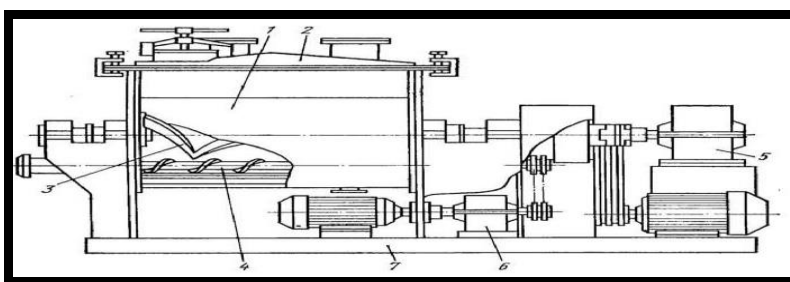


2.2-расм. Аралаштириш идишларининг геометрик шакллари.

Аралаштириш жараён параметрлари, аралаштириш тезлиги ва аралаштириш вақти ҳисобланади. Кукун материалларин аралаштириш вақти энг кам бўлган 12 соат бўлиши мумкин, аксарият ҳолларда аралаштириш вақти 24 соатдан 75 соатгача боради. Аралаштириш тезлиги унча катта бўлмаслиги керак бу аралаштириш эффеқтини пасайтиради шунинг учун аралаштириш жараёнида барабан ёки конуснинг ўз ўқи атрофида айланишлар сони камида 100 айл/мин кўпи билан 200 айл/мин бўлиши керак.

**Иккиламчи аралаштириш.** Иккиламчи аралаштириш деганда бир-бирига аралаштириб тайёрланган кукун материалларга суюқлик яъний

боғловчи модда билан аралаштириш тушунилади. Бунда иккинчи компонент хоссасидан келиб чиққан ҳолда жараён қиздирилиб ёки хона ҳароратида олиб борилиши мумкин. Графит материалларини ишлаб чиқаришда суюқ компонент сифатида тошкўмир смоласи киритилади. Бу компонент 60-70 °С ҳароратгача қиздирилганда жуда суюқ ҳолатга ўтади, аммо хона ҳароратида кам ҳаракатланувчан қовушқоқ модда. Шунинг учун кукунларни у билан аралаштириш учун аралаштириш 70-80 °С ҳароратларда қиздириб олиб борилади. Суюқ компонентларни кукун компонентларга аралаштириш қурилмаси 2.3-расмда кўрсатилган



2.3-расм. Шнекли аралаштириш ускунаси

Шнекли аралаштириш қурилмаси махсус қиздириш системасига эга бўлиб у пар ёрдамида ишлайди. Бунда унинг ҳарорати 200 – 250 °С гача кўтарилиши мумкин.<sup>19</sup>

**Аралашмани майдалаш.** Аралашма тайёр бўлгач махсус идишларга шнекли аралаштириш ускунасидан чиқариб юборилади. Аралашма таркибидаги суюқ ҳолдаги тошкўмир смоласи атроф муҳит ҳароратигача совигандан кейин аралашма кукунлари бир-бирига ёпишиб қисман қотиб қолади. Шунинг учун улар яна шарли тегирмонларда қайта майдаланади ва керакли кукун заррача ҳосил бўлгандан кейин элакларда эланиб шихта кукунлари тайёр бўлади. Элакдан ўтмаган кукунлар яна майдалашга қайтариб юборилади. Элакдан ўтган фракция шакллаш жараёнига жўнатилади. Г – маркали сирпаниш контактларини ишлаб чиқаришда шихта материални тайёрлашдаги технологик параметрлар 2.3-жадвалда келтирилган

2.3-жадвал

### Шихта тайёрлаш технологик параметрлари

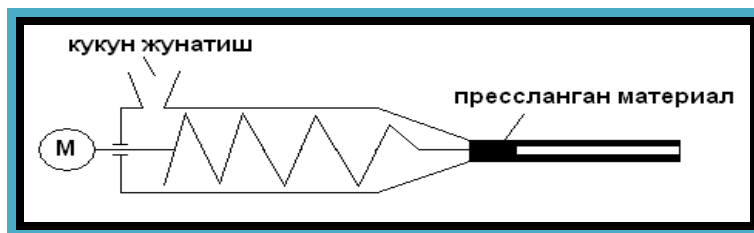
<sup>19</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (445-450 p.p.)

Аралаштириш тури	Ускуна модели	250 кг. Аралашма		Аралаштириш тезлиги, ай/мин	Қиздириш ҳарорати, °С	Аралаштириш вақти, соат
		таркиби, %	массаси, кг			
Бирламчи аралаштириш	Куб идишли СК250/10-150	Графит - 75	187,5	100	-	24
		Антрацит - 7	17,5			
		Кокс - 7	17,5			
		Мис - 8	20			
Иккаламчи аралаштириш	Шнекли СШ250/10-20	Кукунлар - 73	242,4	10	80	24
		Тошқўмир смоласи - 7	7,6			
Шарли тегирмонда майдалаш	Шарли тегирмон ШМ250/100-300	Аралашма	250	100	-	24
Элакдан ўтказиш	Элак №009	Аралашма	250	100	-	-

**Аралашмани шакллаш.** Г – маркали сирпаниш контактини ишлаб чиқариш учун шихта кукун материалдан пресссланиб шакллаш усулида блоклар ясалади. Блокнинг кўндаланг кесими сирпаниш контактининг кўндаланг кесимига тенг қилиб шаклланади. Блокларни пресслаб шакллаш махсус мундштуклаш пресс-ускуналарида олиб борилади. Блокларни пресслаб шакллаш схемаси 2.4-расмда келтирилган. Пресслаб шакллаш жараёни жуда муҳим жараёнларидан бўлиб унда шихта кукун материали детал шаклига келтирилади. Бунда асосий талаб ҳосил бўлган пресс-брикет бошқа технологик жараёнларни, қиздириб пишириш печига транспортировка этиш ва унга жойлаштириш операцияларида ўз шаклини йўқотмайдиган



даражада мустаҳкам бўлишлиги ва қолдиқ ғоваклик миқдори 25-30% дан катта бўлмаслиги талаб этилади.



2.4-расм. Блокларни тўхтамасдан шакллаш ускунаси

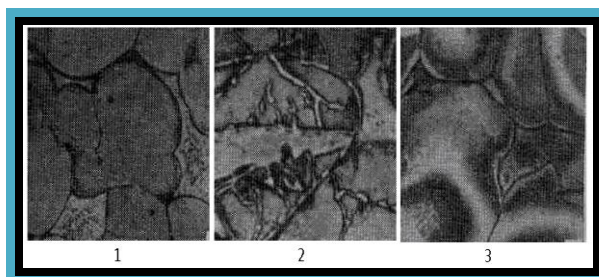
Шакллаш технологик жараён параметрлари: шакллаш босими ва шакллаш тезлиги. Шакллаш босими олдиндан ҳисобланган бўлиб у материалнинг қай даражада рухсат этилган ғовакликига боғлиқ. Мутлақо ғовакликга эга бўлмаган прессс-брикет олиш учун жуда юқори шакллаш босими талаб этилади. Жуда яхши шаклланадиган кукунлар учун шакллаш босими 10-15 т/см<sup>2</sup> ташкил этиб босимнинг катталигидан прессс-қолиплар тез таъмирлашга келиб қолади. Бундан ташқари тўхтамасдан шакллаб блоклар олишда босим қийматини катта бўлишлигини таъминлаб бўлмайди. Чунки катта босимда (2.4-расм) ускуна шинекини ҳаракатлишини тўхтатиб қўяди.

Блокларни тўхтамасдан шакллашда босим меъёрлари 4-5 т/см<sup>2</sup> атрофида танланилади, бунда қолдиқ ғоваклик 25-30% ташкил этади.

**Қиздириб пишириш, шимдириш ва графитлаш.** Қиздириш жараёнида пресс-брикет блоклари материалдан кутилаётган асосий физик-механик хоссаларга эга бўлиб олади. Бу технологик жараёнда энг муҳими қиздириш температураси, қиздириш вақти ва қиздириш муҳити.

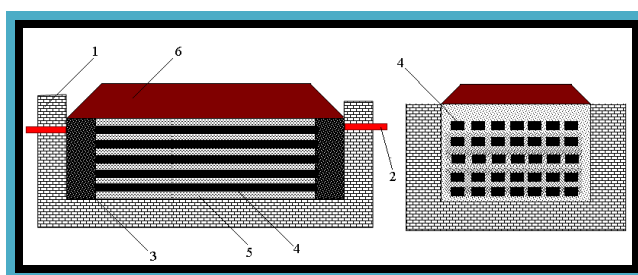
Углерод материалларини ишлаб чиқариш учун қиздириш температураси ками билан 1500 °С кўпи билан 2200 °С оралиғида бўлиши мумкин. Прессс-брикетларни қиздириш натижасида ундаги боғловчи тошқўмир смоласи кокс ҳолига келиб мустаҳкам кукунлар аро боғ ҳосил қилади. Ҳарорат кўтарилган сари кокс ва антрацит аста секин графитлаша бошлайди. Бунда турли компонентлардан ташкил топган шихта материали хоссалари бир-бирига яқин яхлит битта материалга айлана бошлайди. Унинг таркибига кирган металл компонентлар асосий материалнинг доналар чегарасида мустаҳкам боғланиб бошлайди.

Қиздириб пишириш, шимдириш ва графитлаш жараёнидан ўтган Г – сирпаниш контакт материалнинг микроструктураси 2.6-расмда келтирилган.



2.5-расм. Қиздириб пишириш (1), шимдириш (2) ва графитлаш жараёнидан ўтган Г – маркали сирпаниш контакт материалининг микроструктураси, х500

**Қиздириб пишириш.** Углерод материалларини қиздириб пишириш жуда юқори ҳароратли 1500 °С жараён бўлиб, махсус печларда амалга оширилади. Печни қиздириш эса хомаки шакланган блокнинг электр қаршилиқ ҳисобига амалга оширилади, чунки прессбрикет электр ўтказувчи материаллардан ташкил топган. Блокларни печга жойлаштириш ва қиздириб пишириш жараёнини ўтказиш схемаси 2.6-расмда келтирилган

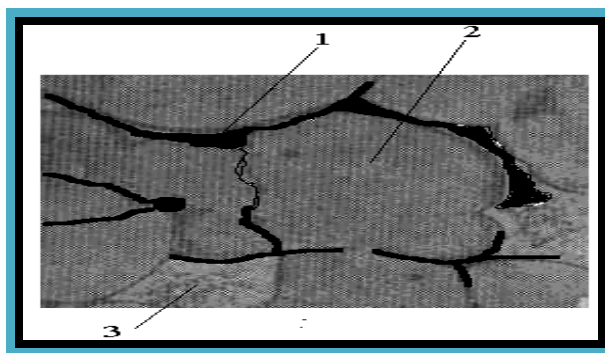


2.6-расм. Қиздириб пишириш ванна печи: 1 – иссиққабардош ғиштдан ясалган ванна; 2 – юқори ток кучини киритиш контактлари (мисдан); 3 – электр ўтказувчи кукун (пресс-брикетлар билан боғланган); 4 – пресс-брикетлар; 5 – электр ўтказмайдиған кукун; 6 – пресс-брикетларни атмосферадан химояловчи кукун.

Печнинг контактларига (2.6-расм, 2) юқори кучга 250-500 А ток ва кичик кучланиш 15-30 в берилганда ток олдин (2.6-расм, 3) кукун орқали пресс-брикетларга ўтади, бунинг натижасида пресс-брикетлар аста секин қизий бошлайди ва 5-7 соатнинг ичида уларнинг ҳарорати 1500 °С гача кўтарилади. Шу температурада яна 3-5 соат ушлаб турилади. Юқори температура таъсирида тошкўмир смоласи аста-секин кокслана бошлайди ва материалга бошланғич физик-механик хоссаларни беради. Печ манбадан ўзилгандан кейин 7-8 соат давомида совийди. Совиган материнли

эҳтиёткорлик билан печ ваннанинг ён тамонидаги ғиштларни бузиб блоклар печдан олинади.<sup>20</sup>

Илк бор қиздирилиб пиширилган блоклар юқори ғовакликга 25-30% эга бўлиб уларнинг эксплуатацион хоссалари ҳали тўлиқ шаклланмаган бўлади. шунинг учун улар шимдириш жараёнига жўнатилади. 2.7–расмда илк бора қиздириб пиширилган углеграфит блокининг микроструктураси келтирилган.



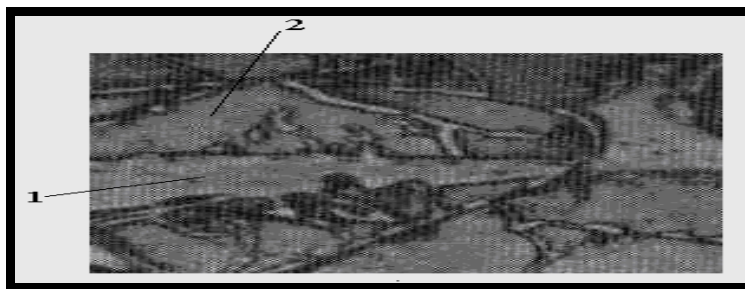
2.7-расм. Илк бора қиздириб пиширилган углеграфит микроструктураси, х250: 1 – ғоваклик (қора доғлар); 2 – графит заррачаси; 3 - коксга айланган тошкўмир смоласи;

**Шимдириш.** Илк бора қиздириб пиширилган углеграфит материалларига юқори физик механик ва эксплуатацион хоссаларни бериш учун энг аввало уларга керакли даражадаги зичликни бериш керак. Шунинг учун ғовак материал қиздириб суюқлантирилган тошкўмир смоласига шимдирилади. Шимдириш жараёни тўлиқлигини таъминлаш мақсадида шимдириш технологик параметрлари танланилади. Бу параметрларга шимдириш температураси ва шимдириш вақти киради. Шимдириш температураси шимдирилаётган тошкўмир смоласининг эриш температурасига боғлиқ бўлиб у 60-70 °С атрофида бўлади. шимдириш вақти эса 10 – 15 соат давом этиши мумкин.

Шимдириш жараёни пўлатдан ясалган ванналарда амалга оширилади. Бунда пўлат ванна кўш деворли бўлиб буғ ёрдамида қиздирилади. Қиздирилган ваннадаги тошкўмир смоласи суюқҳолга келгандан кейин унга блоклар ботирилиб кўйилади. Ҳозирги пайтда суюқ тошкўмир смоласига

<sup>20</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (490-500 p.p.)

ультратовуш таъсирида шимдириш жараёнини тезлатишга эришилган бўлиб у 3-4 соат давом этади. Шимдириш жараёнидан ўтган углеграфитнинг микроструктураси 2.8–расмда кўрсатилган.



2.8-расм. Шимдириш жараёнидан ўтган блокнинг микроструктураси, х250: 1 – тошкўмир смоласи; графит ва кокс кукунлари

**Графитлаш.** Графитлаш технологик жараёни киздириб пишириш жараёнидан фақатҳарорати ва ушлаб туриш вақти билан фарқланади. Графитлаш жараёнида барча углеродга эга бўлган тошкўмир смоласи, антрацит ва кокс юқори ҳарорат таъсиридан кристалл панжараларини ўтгартириб графитлаша бошлайди. Графитлаш ҳарорати хомашёнинг таркибига боғлиқ бўлиб қўшимчалар миқдори ошиши билан графитлаш ҳарорати кўтарилади. 2.4–жадвалда турли қўшимчаларга эга бўлган хомашёнинг графитлашув ҳарорати келтирилган.

2.4-жадвал

Углеродли хомашёнинг таркибидаги қўшимчалар миқдори ва графитлашиш ҳарорати

Қўшимчалар турлари	Тозаланмаган хомашё		Тозаланган хомашё 3000 °С
	2500 °С	2800-3000 °С	
Кремний	$9,4 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Темир	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Ванадий	$3 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Титан	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Алюминий	$4 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Кальций	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	-
Бор	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$

2.4-жадвалдан кўринадики баъзи элементлар углерод материалларни графитлашув жараёнига ижобий таъсир этади, мисол углерод материалда

темирнинг миқдори 0,031% дан 0,001% камайиши унинг графитлашув ҳароратини 2500 дан 3000 °С га оширади. Бундан ташқари юқори ҳароратларда графитлашиш жараёнидан ўтган графит материалларнинг электро-физик хоссалари юқори бўлади. Қиздириб пишириш, шимдириш ва графитлаш технологик жараёни учун аниқланган технологик кўрсаткичлар 2.5–жадвалда келтирилган.

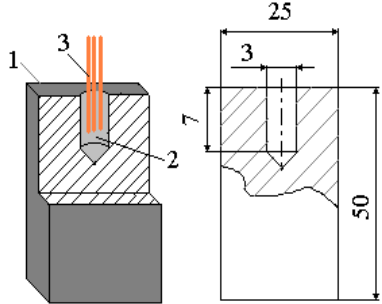
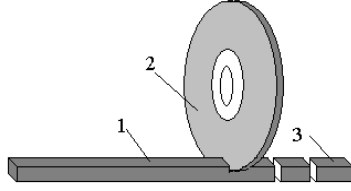
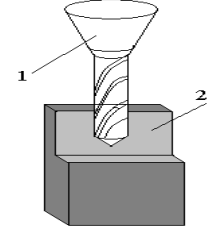
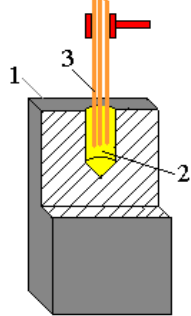
2.5-жадвал

Қиздириб пишириш, шимдириш ва графитлаш технологик жараён параметрлари

Технологик жараён босқичлари	Ускуна номива модели	Жараён ҳарорати, °С	Жараён давомилиги, соат	Материал ғоваклиги, %
Қиздириб пишириш	Тўғри қиздириш печ ванна ППН4.1,5/1000-3000	1500	24	25-30
Шимдириш	Буғ пўлат ваннаси ППВ4.1,5/40-250	80	24	-
Графитлаш	Тўғри қиздириш печ ваннаси ППН4.1,5/1000-3000	2800	48	Кўпи билан 0,1 гача

**Механик ишлов бериш.** Графитлашув жараёнидан ўтган блокларнинг кўндаланг ўлчами сирпаниш контакт кўндаланг ўлчами билан тенг бўлиб узунлиги 4,0 м ташкил этади. Шунинг учун ундан сирпаниш контактларини кесиб олишади ва уланиш симни жойлаштириш учун унга тешик очилади. 2.6–жадвалда сирпаниш контактининг механик ишлов бериш технологик картаси келтирилган.

## Сирпаниш контактини механик ишлов бериш технологик жараёни

		Г – маркани контакт кесмаси ва эскизи: 1 – графит; 2 – улагич; 3 – мис сим
Механик ишлов тури	Жараён схемаси	Ишлов бериш дастгоҳ модели
1. Блокларни бўлаклаш		Горизонтал фрезалаш ФСГ457 1 – блок; 2 – фреза; 3 – контакт бўлаклари
2. Пармалаш		Вертикал пармалаш агрегати ВСА6-45 1 – парма; 2 – контакт бўлаги
3. Симни улаш		Симни улаш Пяльник Э100 1 – контакт; 2 – эриган қотишма; 3 – сим

**Сим улаш.** Сирпаниш контакти ташқи электр манбаига уланиши учун контакт танасига мисдан ясалган кўндаланг кесим юзаси  $15 \text{ мм}^2$  узунлиги 100 мм бўлган мисдан ясалган сим уланади (2.6-жадвал, 3). Симни контакт танасига улаш учун унда махсус тешик бўлиб унга сим уланувчи қотишмаси билан бирга жойлаштирилади ва махсус қиздиригич ёрдамида симдаги қотишма эригунча қиздирилади. Эриган қотишма графитга сингиб қотади ва симни жойда маҳкам ушланиб қолишини таъминлайди. Уланувчи қотишма сифатида аксарият ҳолларда эриш температураси  $700-850 \text{ }^\circ\text{C}$  га яқин бўлган

қотишмалар танланади. Бу қотишмаларга кўйиладиган асосий талаб у графит билан намланиш даражасига эга бўлиши ва графит билан кимёвий киришмаслиги керак. <sup>21</sup>

#### **Назорат саволлари:**

1. Графит ва унинг структураси қандай тузилган?
2. Углеграфит материалларни қўланилиши сохаларини санаб ўтинг ?;
3. Углерод асосли материалларни ишлаб чиқариш технологияси қандай амалга оширилади ?

#### **Фойдаланган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007
5. Kostorz, Gernot., Phase transformation in materials, Wiley-VCH 2005

#### **4-мавзу: Фазаси ўзгарувчан материаллар. Термохромик материаллар.**

##### **Режа:**

1. Қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятлари  
Фаза ўзгаришлар термодинамикаси.
2. Фаза ўзгаришларда фазалараро чегараларнинг роли
3. Гомоген ва гетероген фазаларнинг ҳосил бўлиши
4. Фаза ўзгаришларининг кинетикаси
5. Легирловчи элементларнинг фазалар трансформациясининг критик нуқталарга таъсири. Аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми
6. Совутишдаги ўзгаришлар. Аустенитнинг парчаланиши

***Таянч сўз ва иборалар:*** эркин энергия, фаза, фазалар ўзгариши, фазанинг ички энергияси, температура, иссиқлик гистерезиси, фазалараро чегаралар:

---

<sup>21</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (480-490 p.p.)

когерент; ярим когерент ва когерент бўлмаган, гомоген ва гетероген фазалар, фазалар ўзгаришларининг кинетикаси, фазалар трансформациясининг критик нуқталар, аустенит, аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми, легирловчи элементлар, совутишдаги ўзгаришлар, аустенитнинг парчланиши, аустенитнинг изотермик парчланиши диаграммиси.

#### **4.1 Қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятлари. Фаза ўзгаришлар термодинамикаси**

Маълумки, доимий температура ва ҳажмда системада ўзи рўй берадиган ҳамма жараёнлар эркин энергиянинг камайиши томонга қараб кетади. Мувозанат ҳолат эркин энергиянинг минимал қиймати билан характерланади. Эркин энергия (ёки изоҳора-изотермик потенциал) системанинг характерлайдиган функцияси бўлиб, у қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:  $F \text{ қ } U - T \cdot S$ ,

Бу ерда,  $U$  – ички энергия ;  $S$  – энтропия;  $T$  – абсолют температура.

Металл қотишмаларда қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришлари нисбатан унча катта бўлмаган ҳажмни ўзгариши билан рўй беради. Термодинамиканинг биринчи ва иккинчи қонунларининг умумлаштирилган тенгламаларидан  $(\partial F/\partial T)_v \text{ қ } -S$  ва  $(\partial^2 F/\partial T^2)_v \text{ қ } - (\partial S/\partial T)_v < 0$  кўришиб турибдики, биринчи ва иккинчи ҳосилалар манфий қийматга эга. Бу билан температура ошиши билан ҳар доим ҳам ички энергия камайиши кўрсатилади.

Фазанинг ички энергиясининг температурага боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизик температура ўқига нисбатан эгилганлик ҳолатида бўлади (1 - расм).

Бир компонентли системадаги фаза ўзгаришларини, жумладан металлдаги полиморф ўзгаришларни кўриб чиқамиз.<sup>22</sup>

Агар бир компонентли системанинг икки фазаси мувозанат ҳолатида бўлса, бу фазаларнинг эркин энергиялари эгри чизиклари ўзаро кесишади (1 - расм).

1 – расмдан кўришиб турибдики  $T_0$  температурадан паст температурада  $\alpha$  фаза  $\beta$  фазага қараганда кичик эркин энергияга эга бўлади. Бунда система

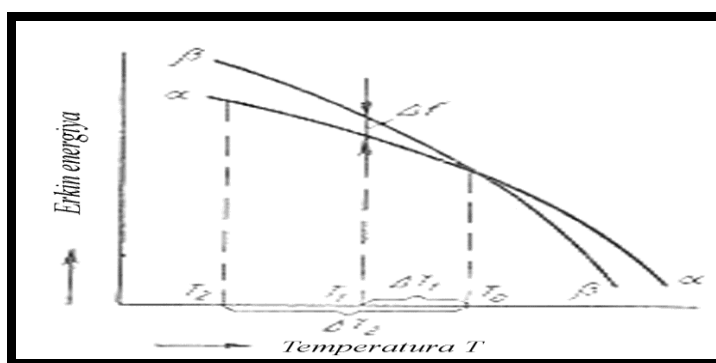
<sup>22</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (420-430 p.p.)



Ўзининг эркин энергиясини камайтиришга ҳаракат қилади, совутишда  $\beta$  фаза  $T_0$  температурадан паст температурада  $\alpha$  фазага айланади.

Совутишдаги температура ўзгариши қиздиришдаги тескари фаза ўзгаришлари температурасидан пастроқда жойлашган бўлади. Бу ҳодисани **ўзгаришнинг иссиқлик гистерезиси** дейилади. Масалан, оқ қалай кул ранг қалайга фақат кучли совуқликда айланади, лекин қалайнинг оқ ва кул ранг модификациясининг мувозанат температураси  $+13\text{ }^\circ\text{C}$  га тенг. Икки фазанинг мувозанат турғунлиги температураси ( $T_0$ ) билан совутишдаги ҳақиқий ўзгариш температураси орасидаги фарққа **ўта совутиш даражаси ( $\Delta F$ )** дейилади.

Ўта совутиш даражаси совутиш тезлиги ошиши билан ошади.



1 –расм.Икки фазанинг эркин энергиясини температурага боғлиқлиги

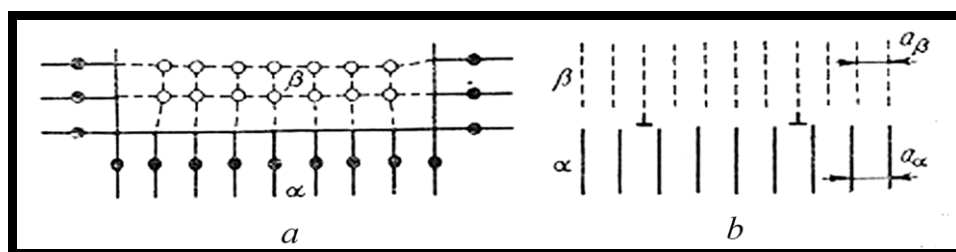
#### 4.2 Фаза ўзгаришларда фазалараро чегараларнинг роли

Дастлабки фазанинг доналар куртаги чегарасидаги фазалараро энергия бу чегаралар тузилишига боғлиқ. Фазалараро чегаранинг учта тури мавжуд: **когерент, ярим когерент ва когерент бўлмаган.**

Когерент чегарада битта фазанинг чегараси секин-аста бошқа фаза панжарасига ўтади (2-расм, а): бу чегарада атомлар текислиги узилмайди, фақат бирмунча эгилади. Эластик деформация когерентликни таъминлаб, иккита фаза панжарасини аста-секин яқинлаштиради ва бўларда атомлараро масофа ҳар доим турлича бўлади. Агар янги фаза дастлабки фазадан бикр бўлса, когерент деформация асосан дастлабки фазага мослашади ва бунинг акси бўлиши мумкин. Агар кристаллараро иккита фаза когерент чегарага эга бўлса, у ҳолда иккала фаза ҳам когерент ҳисобланади.

Дона куртагининг ўлчами ошиши билан иккита фаза панжарасининг мос келмаслигининг компенсацияси юзага келган вазиятда фазаларнинг ҳамма бўлиниш текисликлардаги когерент деформацияси натижасида эмас, балки дислокация ҳисобига қисман энергетик жиҳатдан қулай ҳолатга

келади (2 - расм, б). Бу дислокацияни структура ёки дислокациялар мос келмаслиги деб аталади. Бу фазаларнинг оралиқларида икки фаза панжарасининг когерентлиги сақланади. Бундай тузилишга эга бўлган фазалараро чегара ярим когерент деб аталади. Панжараларнинг мос келмаслик даражаси қанчалик катта бўлса, ярим когерент чегарада дислокациялар зичлиги шунчалик катта бўлади. Икки фаза панжарасининг мос келмаслиги кўп жиҳатдан структураларнинг дислокациялари орасидаги масофани шунчалик камайдики, бунда ҳар бир фаза ўзининг индивидуаллигини йўқотишгача боради. Бундай фазалараро чегара когерент бўлмаган чегара деб аталади.



2 – расм.  $\alpha$  ва  $\beta$  фазалар кристаллар орасидаги когерентли (а) ва яримкогерентли (б) чегараларини тузилиши схемаси

Баҳолаш ҳисобларига муфовик, когерент чегаралардаги фазалараро энергия  $200 \text{ Дж/м}^2$ , ярим когерент чегаралардаги фазалараро энергия  $200\text{-}500 \text{ Дж/м}^2$  ва когерент бўлмаган чегаралардаги фазалараро энергия  $500\text{-}1000 \text{ Дж/м}^2$  ни ташкил этади.

Йўналтирилган ўзгаришлар умумий қонуниятларга бўйсунди ва унинг моҳияти кенг маънода **П. Д. Данков** қарашларида кўрсатилган бўлиб, уни йўналтирилган ва ўлчамга мос бўлган тамойил деб қаралган. У қуйидагича таърифланади: ”қаттиқ жисмлар сиртидаги кимёвий ўзгаришлар шу тарика ривожланиб рўй бериши керакки, бунда дастлабки қаттиқ фаза ва янги қаттиқ фаза атомларининг конфигурацияси сақланиши лозим”. Кўрсатилган жараёнда янги фаза кристалл панжараси дастлабки фаза кристалл панжараси билан параметрлари бир - биридан минимал фарқ қиладиган ўхшаш кристалл текисликлар яқинлашади. Термодинамика нуқтаи назаридан икки фазани қонуниятли йўналиши сабаби анизотроп муҳитда “эски ва янги фазалар ўзаро яқинлашган, тўқнашган томонларда жойлашган максимал ўхшаш атомлар минимум сиртқи энергияни таъминлаб беради ” (**С.Т. Конобеевский**).

Йўналтирилган ва ўлчамга мос бўлган тамойил ёки қисқача структурага мослик, яна бу **Данков – Конобеев тамойили** деб ҳам аталади, когерент фаза ҳосил бўлишида аниқ кўринади, лекин у йўналиш ва когерент бўлмаган дона куртагини аниқлаб беради. Бу ердаги қонуниятли йўналиш когерент бўлмаган чегарадаги энергияни камайтиради.

Структурага мослик тамойили янги фазада қонуниятли йўналган чўзилган кристалларни ҳосил бўлишини тушунтириб беради. Шлифларда булар бир иккинчисига параллел ҳолда ёки маълум бурчак остида жойлашган бўлади. Ушбу структурани видманштеттен структура деб аталиб, австриялик тадқиқотчи А.Видманштеттен шарафига 1808 йил биринчи бўлиб кузатганлиги учун қўйилган.<sup>23</sup>

### **4.3. Гомоген ва гетероген фазаларнинг ҳосил бўлиши**

Дастлабки фазани ҳажмининг турли жойларида тасодифий равишда янги фазаларни ҳосил бўлишига **гомоген фазаларни** ҳосил бўлиши дейилади.

Гомоген фазаларни ҳосил бўлиши механизмларидан бири критик куртакларни флуктуацион пайдо бўлиши ҳисобланади. Флуктуациядаги энергия ва миқдор хаотик иссиқлик ҳаракати натижаси бўлиб, унинг даслабки фазанинг турли жойларида ҳосил бўлиши эҳтимоллик ҳарактерига эга. Шунинг учун бундай флуктуациялар базасида юзага келадиган дастлабки фазалар куртаклари ҳам ҳажм бўйича тақсимланиши ҳам тасодифийдир.

Доналарни гомоген ҳосил бўлишнинг классик назарияси буғ конденсацияси ва суюқларни кристалланишига нисбатан ривожланган. Бу ҳол авваламбор маълум бўлганки, юқорида қайд этилган жараёнлар идиш ёки қолипнинг асосан деворларида рўй беради.

Суюқ қотишмаларда одатда, ҳар доим жуда кичик кимёвий таҳлил ёрдамида назорат қилиб бўлмайдиган кўшимчалар – оксидлар, нитридлар, карбидлар, сульфидлар ва бошқалар бўлади. Жуда кўп миқдордаги “бегона” кўшимчалар пилик вазифасини ўтайди ва шунинг учун одатдаги шароитларда тоза суюқ қотишманинг ички ҳажмида доналарни гомоген ўз ҳолича пайдо бўлиши жараёнлари билан эмас, балки бошқа фазалар билан сирт бўлинишига эга бўлган доналарни ҳосил бўлиш жараёни билан иш

---

<sup>23</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (480-485 p.p.)

кўрамиз. Шунинг учун доналар, фазаларнинг бундай ҳосил бўлишига **гетероген ҳосил бўлиш** дейилади.

Фазаларнинг гетероген ҳосил бўлиши доналарнинг критик ҳосил бўлишининг классик флуктуацион назариясига зид эмас. Қўшимчаларга эга бўлган дона куртакларининг чегарасидаги сирт энергияси суяқ эритмани чегарасидаги сирт энергиясидан кичик бўлса, у ҳолда доналарни критик ҳосил бўлишига кетган иш кичик бўлади.

Қаттиқ ҳолатда доналарни мумкин қадар ҳосил бўлиши маълум бир жойларда қулай бўлиб, бунда дастлабки фазанинг жуда кўп жойларида юқори эркин энергияга эга бўлади ва у ўзгаришларга имконият яратади. Бу жойларга дастлабки фазанинг донаси ва субдонаси орасидаги чегаралар, бошқа фазаларнинг дисперс қўшимчалари, дислокациялар ва упаковка нуқсонлари киради.

#### **4.4 .Фаза ўзгаришларининг кинетикаси**

Қаттиқ ҳолатда кристалланиш жараёнларини кинетикаси иккита параметр, яъни ўзгаришлар бўладиган марказларнинг ҳосил бўлиш тезлиги ва бу марказларнинг чизикли ўсиш тезлиги билан аниқланади. Юқорида кўриб ўтганимиздек, кристалланишнинг иккал ҳам параметри ўта совутиш даражасига ёки ўта қизишга боғлиқ.

Маълум ўта совутиш ёки ўта қизишда фаза ўзгаришларининг кинетикасини кинетик эгри чизик орқали тасвирлаш мумкин, бу эгри чизик вақт бўйича янги структура ташкил этувчилар сонини ўсишини кўрсатади (3 - расм).

Совутишда рўй берадиган ўзгаришларнинг кинетик эгри чизиги куйидагича қурилади. Намунани фазалар мувозанати нуқтасидан юқори температурагача қиздирилади. Бундай температурада намуна узоқ муддат дастлабки фаза ҳолатида бўлади. Сўнгра, намунани зудлик билан фазаларнинг муозанат ҳолатидан паст температурага эга бўлган термостатга ўтказилади, яъни термостатдаги температура маълум ўта совутиш даражасига мос келади. Термостат бўлиб, тузли ёки мойли ванна ҳамда эриган металллар ваннаси ҳам хизмат қилиши мумкин.<sup>24</sup>

---

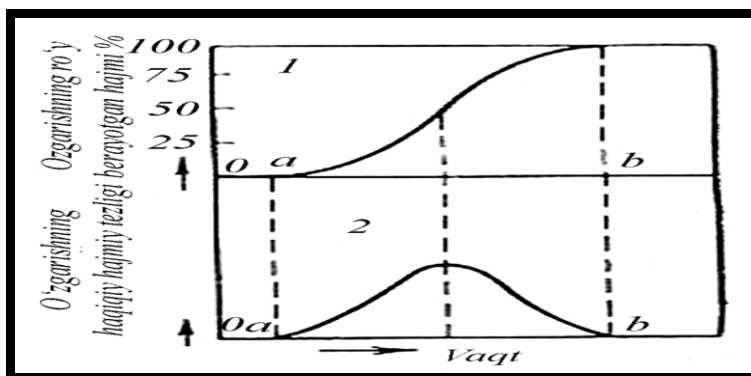
<sup>24</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 540-550 p.p.)

Намуна жуда юпқа, кичик бўлиши керак, чунки намуна термостат температурасини тезда олиши керак. Термостатда жойлашган намунанинг ўзгариш даражасини унинг қандайдир хоссасини, масалан магнит ёки электр хоссаларини ўғариши орқали кузатиш лозим. Яна, термостатдаги намунани маълум бир вақт оралиғидан кейин тоблаш ва унинг хоссасини ўлчаш ёки хона температурасида тобланган намунани микроструктурасини ўрганиш мумкин.

Қиздиришда рўй берадиган ўзгаришлардаги кинетик эгри чизик аналогик йўл билан қурилади. Бу ҳолатда, дастлабки температурага, яъни фазаларнинг мувозанат нуқтасидан паст температурага эга бўлган намуна зудлик билан маълум бир ўта қизиш даражасига мос келадиган температурага эга бўлган термостатга жойлаштирилади.

Ҳамма изотермик кристалланиш жараёнлари қуйидаги кинетика орқали ҳарактерланади (3 - расм).

Дастлаб, ўзгариш рўй бераётган ҳажм тезлашган ҳолда ўсади, ўзгаришнинг охирида эса ушбу ҳажм зудлик билан секинлашади. Шундай қилиб, доимий температурада ўзгаришнинг ҳақиқий ҳажмий тезлиги ўз ҳолича ўзгаришлар жараёнида ўзгаради. Ҳар бир вақт моменти бўйича ўзгаришнинг ҳақиқий ҳажмий тезлиги график йўл билан яъни, тангенс бурчакни кинетик эгри чизикка уринма қиялик бурчаги орқали аниқланади.



5. 3 - расм. Доимий температурада фазалар ўзгариши кинетикаси:

1 – кинетик эгри чизик; 2 – ҳақиқий ҳажмий ўзгариш тезлигининг изотермик ушлаб туриш вақтига боғлиқлиги;  $oa$  – инкубацион давр;  $ab$  – тўлиқ ўзгариш вақти

Бошланғич даврда кичик ҳажмий тезликка эга бўлиши унча катта бўлмаган ўзгаришлар марказлари сонини ҳосил бўлиши ва янги структура

ташкил этувчиларнинг кичик юзага эга эканлиги билан тушунтирилади. Сўнгра, аста-секин марказлар сони ошиб боради, янги ташкил этувчиларнинг ўлчамлари ва кристалланишнинг жамланган юза фронти ошади, шунинг учун ўзгаришнинг ҳажмий тезлиги бу сиртнинг юзасига пропорционал бўлиб, ошади.

Лекин, бу тезлик вақт ўтиши билан узлуксиз ўсиши мумкин эмас, изотермик ушлаб туриш даркор. Жараённинг секинлашиши айниқса, ўзгаришнинг охирида яққол кўринади, бу ҳол ўсаётган кристаллар бир - бири билан ўзаро тўқнашиб, тўқнашган жойида кристаллар ўсишдан тўхтади.

Фазалар ўзгаришининг кинетикасини А.Н. Қолмогоров ва И.Л. Миркин томонидан математик таҳлил натижасида марказлар ҳосил бўлиш тезлиги ( $n$ ) ва қайта кристалланишнинг чизиқли тезлигининг ( $c$ ) доимий қийматларида ўзгарган ҳажмни ўзгариш вақтига  $\tau$  нисбатан қуйидаги боғлиқ олинган:

$$V(\tau) \approx V_0 - [1 - \exp(-1/3 \cdot \pi \cdot n \cdot c^3 \cdot \tau^4)],$$

Бу ерда  $V_0$  – дастлабки фазанинг бошланғич ҳажми.

Бу формула 3 –расмдаги 1 эгри чизиқни ҳарактерига мос келади. Формуланинг хулосаси шундан иборатки, янги фаза кристаллари бири иккинчиси билан тўқнашмагунча сферик шаклга эга бўлади.

Изотермик ушлаб туриш вақтининг энг бошланғич даврида ўзгаришлар кузатилмайди (3 – расм, оа – кесма).

Бу даврни **инкубацион давр** дейилади. Инкубацион даврда ҳосил бўлган янги кристаллар сони шунчалик камки, ўзгаришлар одатдаги тадқиқотлар усуллари билан қайд қилиб бўлмайди. Инкубацион даврнинг охирини (3 –расмдаги а нукта) – тадқиқот қилиш усуллари билан қайд қилиниши мумкин бўлган ҳолатдир.

#### **4.5 Легировчи элементларнинг фазалар трансформациясининг критик нукталарга таъсири. Аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми**

Қотишмаларни, жумладан пўлатларни юмшатиш термик ишлов бўлиб, бунда бош жараён аустенитлаш ва кейинги перлитли ўзгаришлар ҳисобланади.

Аустенит ҳосил бўлишдан аввал дастлабки структура  $\alpha$  фаза ва карбиддан иборат аралашмадан ташкил топади. Углеродли пўлатларда аустенит  $A_1$  нуктадан юқори температурада 0,8 % С га эга бўлади, бу

вақтнинг ўзида феррит дастлабки структурада 0,02 % C га эга бўлади. Эксперимент натижалари асосида аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми қуйидагича: биринчи босқич –  $\alpha \rightarrow \gamma$  полиморф ўзгариши силжиш механизми орқали метастабил кам углеродли аустенит ҳосил бўлади; иккинчи босқичда ҳосил бўлган аустенитда углерод миқдорини ошириш, яъни уни карбид заррачаларини аустенитда эриши туфайли мувозанат ҳолатига яқинлаштириш жараёни кечади.

Аустенит куртаклари ҳосил бўлишида панжарани  $\alpha \rightarrow \gamma$  га полиморф ўзгаришининг юзага келтирувчи силжиш механизми қуйидаги фактларни кўрсатади: шлифнинг полировка қилинган юзаларида  $\gamma$  фазанинг дастлабки участкаларида нинасимон шаклга эга бўлган аустенит рельефини ҳосил бўлиши ва  $\alpha \rightarrow \gamma$  полиморф ўзгаришда дислокациянинг субструктурасини “наследорлиги” аниқланади.<sup>25</sup>

Аустенит куртаклари феррит доналари чегарасида ҳосил бўлади. Донали перлит структурасига эга бўлган пўлатларда аустенит куртаклари феррит доналари чегараларида жойлашган карбид заррачалари яқинида ҳосил бўлади.

Эвтектоидгача бўлган пўлатларда аустенитнинг дастлабки участкалари ортиқча феррит доналари ва субдоналари ва перлит қолониялари чегараларида ҳосил бўлади.

20 маркали пўлатдан тайёрланган намунани 730 °C температурагача киздириб, 1 соат ушлаб тургандан кейинги ҳолатдаги автордиография натижалари асосида углероднинг тўғри чизиқ бўйлаб тақсимланиши кўрсатилган. Ушлаб туриш вақтини ошири билан аустенит участкаларини таркиби аниқ GS чизиғи бўйича мувозанат ҳолатига яқинлашиб боради. Аустенит доналари куртакларини ўсишининг иккита ҳолатини тасаввур қилиш мумкин. биринчи ҳолатда аустенит куртаклари феррит ва карбид доналари билан ўзаро контактда бўлиб, у бевосита ўсувчи аустенит доналари томонидан ютилиб, сингиб боради. Иккинчи ҳолатда аустенит доналари феррит доналари билан тўлиқ ўралган бўлиб,  $\gamma / \alpha$  чегараси карбид заррачасига мос келмагунча карбид ферритда эрийди. Иккала ҳам ҳолатда

---

<sup>25</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (580-585 p.p.)

юқори вольтли электрон микроскоп қолоннасида тўғридан-тўғри кузатиш перлит-аустенитли ўзгаришларнинг жадаллашишини қайд қилади.

Аустенит ҳосил бўлиш марказларининг жуда кўп бўлиши туфайли  $\alpha \rightarrow \gamma$  полиморф ўзгаришларнинг охирида кичик аустенит донаси шаклланади. Бу аустенит донаси одатда бошланғич аустенит донаси деб аталиб, унинг ўлчами 10-20 мкм атрофида бўлади.

Температура ошиши билан аустенит куртаклари марказлари ҳосил бўлиши тезлиги унинг чизиқли ўсиш тезлигига нисбатан кўпроқ ошади ва ўз навбатида аустенитнинг бошланғич донаси кичикроқ бўлади. Ўз навбатида, юқори температурагача тез қиздириб ва жуда қисқа муддатда ушлаб туриш натижасида кичик донали аустенитни олиш мумкин, бу эса катта тезликда қиздириб термик ишлов беришда жуда муҳимдир.

Аустенитлашни тугалланиши билан аустенит донаси ўсишга мойил бўлади ва уни ҳаракланувчи кучи доналар чегарасидаги энергиялар ҳисобланади. Температура ошиши билан аустенит донасини ўсиши тезлашади. Аустенит донасини бир текисда ва нотекис ҳолатда ўсиши мумкин. Бу жараёнларни аслида иккиламчи қайта кристалланиш деб аташимиз мумкин.

Совутилганда аустенит бошқа фазаларга ўзгаради, айланади ва унинг ўлчами пўлатларнинг жуда муҳим тавсифномаси ҳисобланади. Бу ҳолат секин ва тез совутишда пўлатларнинг структура ташкил этувчилари ҳар бир аустенит донаси меъёрида шаклланади. Қанчали аустенит донаси кичик бўлса, ортиқча ферритнинг тўри унинг чегараси бўйлаб кичик бўлади ва ўз навбатида перлит қолониялари ўлчамлари ва кейинчалик ҳосил бўладиган мартенсит кристаллари ўлчамлари ҳам кичик бўлади. Шунинг учун аустенит йўқ бўладиган температураларда аустенитнинг кичик ўлчамли донаси кичик кристалли синишга, аустенитнинг катта ўлчамли донаси эса катта кристалли синишга мойил бўлади. Аустенитнинг турли ўлчамдаги донаси зарбий қовушқоқликка ўта сезувчан бўлиб, унинг ўлчами катталашиши билан у камайиб кетади. Совуқликдан синиш температураси аустенит донаси ўлчамини ошиши билан ошади.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (520-530p.p.)



Углероднинг гамма эритмадаги миқдори ошиши аустенит донаси ўлчамини ошишига олиб келиши мумкин. Аустенитда ўта катта миқдорда углерод миқдорини ошиши аустенит донаси ўлчамини ўсишига қаршилик кўрсатади ва бу цементит заррачасини тормозлаш таъсирга эга эканлиги билан тушунтирилади.

Деярли ҳамма легирловчи элементлар аустенит донаси ўлчамини ўсишини тормозлайди. Фақат бундан марганец мустасно бўлиб, аустенит донаси ўлчамини ўсишини тезлаштиради. Аустенит донаси ўлчамини катталлашишига кучли таъсир қиладиган элементларга қуйидагилар киради: V, Ti, Al, Zr, W, Mo ва Cr. Ni ва Si эса юқоридаги жараёнга кучсиз таъсир қилади.

Легирловчи элементларнинг аустенит донаси ўлчамларининг ўсиши таъсир қилиш сабаблари аустенитда қийин эрийдиган карбидлар, нитридлар ва бошқа фазаларнинг ҳосил бўлиши аустенит донасининг ўсишига қаршилик кўрсатувчи барьерлар вазифасини ўташи билан тушунтирилади. Бу фазаларнинг дисперслиги ва уларнинг тақсимланиши на фақат пўлатни эритиш ва унга иссиқ ҳолда ишлов бериш шароитига балки дастлабки термик ишлов беришга (юмшатишга) ҳам боғлиқдир. Ўз навбатида қиздирилганда пўлат донасини ўсишига мойиллиги унинг асосий компонентларини таркиби, металлургик сифати, ишлаб чиқариш технологиясидан ташқари дастлабки термик ишлов бериш ҳолатига ҳам жуда катта боғлиқ бўлади. Ана шундан келиб чиқиб, наслдорлиги катта донали ва наслдорлиги кичик донали бўлган пўлатлар мавжуд.

Наслдорлиги катта донали бўлган пўлатларда температура  $A_{C3}$  нуқтадан юқори температурага нисбатан унча катта бўлмаган миқдорда ошганда дона интенсив равишда ошиб боради. Наслдорлиги кичик донали бўлган пўлатларда кичик донали аустенит донасини  $A_{C3}$  нуқтадан 930-1100 °C гача температураларнинг кенг диапазонада оламиниз. Бундай температуралар диапазонидан ўтган наслдорлиги кичик донали бўлган пўлатни ўта қизишига олиб келади. Ўта қизиш деганда аустенит донаси ўлчамини интенсив катталлашиши оқибатида зарбий қовушқоқликни пасайиб кетиши тушунилади.

Пўлатларни қиздиришда аустенит донасини ўсишига алюминий кучли таъсир қилади. Наслдорлиги кичик донали бўлган пўлатлар печдан ковшга

куйишдан суюқ пўлатга 0,05 % Al қўшиб олинади. Аллюминий оксидлари ва нитридларининг кичик ўлчамли зарралари аустенит доналари ўлчамлари ўсишини тормозлайди. Наслдорлиги кичик донали бўлган пўлатларда 950-1100<sup>0</sup>С температурадан юқори температурада аустенит донаси ўлчамини интенсив ошиши барьер ҳосил қилувчи заррачаларни эриши ва коагуляция билан тушунтирилади.

Пўлатларда доналар ўлчамини ошишига мойиллиги стандарт технологик проба орқали аниқланади. Бунинг учун эвтектоидгача бўлган пўлатдан олинган намунани 930<sup>0</sup>С температурада 8 соат мобайнида цементациялаб, сўнгра кичик тезликда совутиламиз. Дона ўлчамини аустенит доналари чегарасида ҳосил бўладиган карбид тўри ёрдамида аниқланади. Эвтектоиддан кейинги пўлатлар 930<sup>0</sup>С гача температурада қиздириб ва сўнгра 3 соат мобайнида ушбу температурада ушлаб туриб ҳамда секин совутиламиз. Бунда дона ўлчами аустенит доналари чегарасида ажралиб чиқадиган иккиламчи карбидлар тўри ёрдамида аниқланади. Дона ўлчамини аниқлашнинг бошқа усулига пўлатдан тайёрланган шлифни 930<sup>0</sup>С температурада оксидловчи муҳитда қиздириб сўнгра 3 соат мобайнида ушбу температурада ушлаб туриб совутилган намунани аустенит донаси чегарасида ҳосил бўладиган оксидлар тўри ёрдамида аниқлаш киради. Жуда кўп маркали пўлатларга турли турдаги термик ишлов беришда қиздириш температураси 930<sup>0</sup>Сдан ошмайди. Ана шу мақсадда 930<sup>0</sup>С температура қиздириш температураси деб қабул қилинган.

Аустенит донаси ўлчами тахминан 40 мкмдан дан кичик бўлганларни кичик донали ва ундан катта бўлганларни эса катта донали деб аталади.

Шундай қилиб, аустенитни наслдорлигига боғлиқ бўлган донаси ва ҳақиқий донаси мавжуд. Наслдорлигига боғлиқ бўлган дона стандарт шароитда технологик пробалар ёрдамида олинади ва у пўлат донаси ўлчамини ўсишига мойиллиги билан тушунтирилади. Ҳақиқий дона эса термик ишлов бериш операциясининг у ёки бу тури натижасида ҳосил бўладиган донадир. Бу донанинг ўлчами наслдорлиги кичик ёки катта бўлган донанинг ўлчамидан термик ишлов беришда 930<sup>0</sup>С температурадан юқори ёки паст температурада қиздирилганда катта ёки кичик бўлиши мумкин.

#### 4.6 Совутишдаги ўзгаришлар. Аустенитнинг парчаланиши

Ҳамма углеродли ва кўпчилик легирланган пўлатларни совутишда аустенит перлитли, мартенситли ёки бейнитли ўзгаришлар рўй беради. Қайтадан пўлатларни қиздиришда яна қайта маълум бир ўлчамли, шаклли аустенит ҳосил бўлади. Аустенит донасининг кристаллографик йўналиши бирламчи перлитли, мартенситли ёки бейнитли ўзгаришлардан олдинги дастлабки аустенит донасига ўхшаш бўлади. Бундай аустенит донасининг ўлчами, шакли ва йўналиши ирсияти наслдорликдаги структура дейилади. Структурадаги наслдорликни намоён бўлиши пўлатнинг дастлабки структураси ва унинг таркибига ҳамда қиздириш тезлиги ва аустенитланиш температурасига боғлиқ. Агар пўлат қайта қиздириш орқали мартенсит ёки бейнит структурасига эга бўлса, у ҳолда унинг структурасидаги наслдорлик янада ёрқин намоён бўлади. Феррит-перлит структурасига эга бўлган пўлатда дастлабки аустенит донаси одатда наслдорликка ўрганилмайди. Агар олдиндан ана шундай пўлат ўта қиздирилган ва аустенит катта ўлчамли донага эга бўлса, у пўлатни қайта  $A_{c3} + (30\div 50)$  температурагача қиздирилса, аустенит кўп жойларда пайдо бўлиб, у майда донали бўлади. Катта донали аустенит донаси дастлабки видманштетатли структурага эга бўлган ҳолда у ўрганилади.

Мартенситли, бейнитли ҳамда видманштетатли структурага эга бўлган пўлатларнинг умумий томони уларнинг кристаллографик тартибланган ҳолати ҳисобланади. Йўқолган аустенит донаси ҳажмида  $\alpha$  фаза пластинаси маълум бир кристаллографик йўналишга эга бўлади. Пўлатларни қиздиришда  $\gamma$  фазанинг куртаклари ўз навбатида  $\alpha$  фаза пластинасига нисбатан қонуний йўналтирилган бўлиб, натижада дастлабки аустенит донаси ҳажмида  $A_3$  нуктадан унчали катта бўлмаган температурада қиздиришда пўлатда аниқ бир аустенит донаси шаклланиб, уни қайта тикланган дона деб аталади.

Шундай қилиб, пўлатни қайта қиздиришда аустенит донасини қайта тиклаш учун биринчи навбатда совутишда наслдорликни ҳосил бўлиши (ҳар бир дастлабки аустенит донаси ҳажмида  $\alpha$  кристалларнинг кристаллографик тартибланган комплексини ҳосил бўлиши) ва иккинчидан пўлатни кейинчалик қиздиришда наслдорлигини намоён бўлишига (кўрсатилган  $\alpha$

кристаллар комплексини бир қайта тикланган аустенит донасига ўтиши) эришишдан иборат.

Агар пўлатни совутишда аустенитда перлитли ўзгариш кечса ва видманштетатли структура ҳосил бўлмаса, ҳосил бўлган ортиқча феррит донаси ва перлит колонияси дастлабки аустенит донаси панжарасига нисбатан маълум бир аниқ кристаллографик йўналишга эга бўлмайди. Бу ҳолда перлит колонияси ва ортиқча феррит донаси ҳар бир дастлабки аустенит донаси ҳажмида бир бутун яхлит кристаллографик тартибли комплекс ҳосил қилмайди, кейинчалик пўлатни қиздиришда унинг ичида жуда кўп бир-бирига нисбатан турли йўналган аустенит куртаклари ҳосил бўлади ва унинг донаси дастлабкисига нисбатан майда бўлади.

$A_3$  нуктадан юқори температурада пўлат қиздирилганда дастлаб аустенитнинг катта доналиги текширилди, кейинчалик температура ва ушлаб туриш вақтини ошиши баъзи ҳолларда қайта тикланган аустенит донаси катталаниши ўрнига майдалашади. Ҳеч қандай фаза ўзгаришлари бўлмайдиган ҳолда температуралар оралиғида бундай донанинг майдаланиши ҳар бир қайта тикланган аустенит донасининг ўрнига жуда кўп сонда янги аустенит доналарининг ҳосил бўлиши оқибатида ҳосил бўлади. Структуранинг қайта кристалланиш жараёни ташқи белгилари, физик моҳияти жиҳатидан қайта кристалланувчан ҳисобланади. Фақат, одатдаги бирламчи қайта кристалланишдан фарқли равишда, доналарнинг керакли ҳолда шаклланиши учун юқори дислокация зичлиги металлни ташқи кучлар таъсирида деформацияланиши натижасида ҳосил бўлади ва кўриб турилган ҳолат учун дислокациянинг юқори зичлиги ички фазаларнинг пухталаниши (наклёпи) орқали вужудга келади.<sup>27</sup>

Фазанинг пухталаниши – фаза ўзгаришлар жараёнида янги фазаларнинг дислокация зичлигининг юқорилигидир. Дислокация зичлигининг юқорилиги у эски ва янги фазаларнинг солиштирма ҳажмининг фарқи натижасида ҳар қандай фаза ўзгаришларда ҳамда мартенсит ўзгаришларда ҳам ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, пўлатни структурадаги наслдорлиги намоён бўлгандаги майда донали структурасини шаклланишининг иккита босқичи бор. Биринчи

---

<sup>27</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (460-480 p.p.)

босқич – дастлабки аустенит донаси ҳажмида  $\alpha$  фаза кристалларининг кристаллографик тартибланган комплексида ташкил топган юқори дислокация зичлигига эга бўлган  $\gamma$  фазанинг қайта тикланган донасининг ҳосил бўлиши бўлса, иккинчи босқич -  $\gamma$  фаза кристалларининг ҳосил бўлиши ва нисбатан ҳар томонлама ўсиши, яъни структурадаги наслдорликни йўқотишга олиб келадиган қайта кристалланиш жараёнини ҳосил бўлиши ҳисобланади.

Фаза ўзгаришларини тугалланиши ва аустенитнинг бирламчи қайта кристалланиши температуралар интерваллари бўйича ўнлаб ва юзлаб градуслар бўйича бўлинади. Масалан, 35Л углеродли пўлатдан тайёрланган қуйма катта донали видманштетатли структурага эга бўлади, уни одатдаги 850<sup>0</sup>С температурагача қиздирилганда дастлабки аустенит донаси қайта тикланади, агар 900 – 960<sup>0</sup>С температурагача, яъни  $A_{c3}$  дан 100 – 150<sup>0</sup>С температурагача қиздирилганда дона майдаланади ва дастлабки қуйма ҳолатдаги структуранинг наслдорлиги йўқотилади. Агар пўлатда феррит пластинасининг видманштетатли структураси қанчалик кўп бўлса, структурали қайта кристалланиш температураси шунчалик катта бўлади.

Легирилган пўлатларнинг структурадаги наслдорлигини бартараф этиш учун углеродли пўлатларга нисбатан қиздириш температураси  $A_{c3}$  дан айтарли даражада катта бўлиши лозим. Масалан, 20Х13Л маркали пўлатдан тайёрланган қуймадаги катта донали структурани тўғрилаш учун бу пўлат маркасини 1100 – 1150<sup>0</sup>С температурагача, яъни  $A_{c3}$  дан тахминан 300<sup>0</sup>С температурагача юқори температурада қиздирилади.

Дастлабки аустенит донаси унчали катта бўлмаган қиздириш тезлигида (градусни минутга нисбатида) яъни одатдаги печда қиздиришда ўрганилади. Қиздиришни тезлаштириш билан дастлабки аустенит донасини тадқиқ қилиш бўшашади.<sup>28</sup>

### **Назорат саволлари:**

1. Қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятлари ҳамда фаза ўзгаришлар термодинамикасини изоҳлаб беринг .
2. Фаза ўзгаришларда фазалараро чегараларни тузилишининг ролини тушунтиринг.

<sup>28</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 540-570 p.p.)

3. Гомоген ва гетероген фазаларнинг ҳосил бўлиши қандай амалга оширилади.
4. Фаза ўзгаришларининг кинетикаси тушунтириб беринг.
5. Легирловчи элементларнинг фазалар трансформациясининг критик нукталарга таъсири. Аустенитнинг ҳосил бўлиш механизми асослаб беринг .

**Фойдаланган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007
5. Kostorz, Gernot., Phase transformation in materials, Wiley-VCH 2005

## IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАТЕРИАЛЛАРИ

### 1- амалий машғулот:

#### Хотирага эга бўлган қотишмалар

*Ишдан мақсад:* Модда атом текисликлари оралиғи бўйича унинг турини аниқлаш

*Масалаинг қўйилиши:* Фаза атом текисликлари оралиғи бўйича, модда турини топиш.

#### Ишни бажариш учун намуна:

Ҳар бир фаза ўзининг кристаллик панжарасига эга. Кристалл панжара ўзига таълуқли атом текисликлари оралиғига эга бўлади. Атом текисликлар оралиғи аниқ бўлса, модданинг кристаллик тузилиши турини топиш мумкин. Бу ҳақда адабиётларда керакли малумот берилган. Адабиётларда атом текисликлари оралиғи ҳақидаги малумот  $\frac{d_{hke}}{2}$  кўрсаткичнинг камайиб бориши бўйича жадвалларда берилган. Бу ерда "n" бутун сон (1,2,3...) лар бўлиб қайтиш тартиби дейилади. НКЛ индексни сохта атом текислиги сифатида қараса бўлади. У қайтган рентген нурлари интерферентсия чизиқлари индексларини ифодалайди. Бу индекслар атом текислиги индекси (НКЛ) ни қайтиш тартиби "n" га кўпайтирилиб топилади (  $H_k n h$ ;  $K_k n k$ ;  $L_k n l$  ).

Поликристалл моддаларда фазалар таркибини билиш учун атомлар текислиги оралиғини билиш етарли. Бу усул содда бўлиб, кенг ишлатилади. Вулф-Брегг формуласига асосан:

$$n\lambda \approx 2d \sin\theta$$

Бундан  $\frac{d}{n} = d_{(HKL)} = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$  (1).

$\lambda$  - характерли нурнинг тўлқин узунлиги, маълум қиймат.

тўлқин узунлиги бир қийматли эмаслигини ҳисобга олиш керак. Рентген трубкадан чиққан характерли нурлар, икки хил тўлқин узунлигига эга. Улар  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$  деб белгиланади.

Масалан, темир анодидан чиққан рентген нурлари тўлқин узунлиги:

$$\lambda K_\alpha = 1.9312 * 10^{-1}$$

$$\lambda K_\beta = 1.75653 * 10^{-1} \text{ га тенг.}$$

$K_\beta$  нурнинг тўлқин узунлиги кичик, аммо интенсивлиги га нисбатан 4-5 марта кам. Шу сабабли фаза таҳлили чизиқлар ёрдамида олиб борилади.

Бунда чизиклар тахлил қилувчини чалкаштиради. Шу сабабли ва чизикларни бир - бирдан ажратиб олиш зарур.

Агарда кристалл қаттиқ жисмда (НКЛ) текислик, бирламчи рентген нурга караганда қулай, қайтиш бурчакда жойлашган бўлса:<sup>29</sup>

$$\sin\theta_{\alpha} = \frac{n\lambda_{\alpha}}{2d_{(hkl)}}; \quad \sin\theta_{\beta} = \frac{n\lambda_{\beta}}{2d_{(hkl)}}; (2).$$

Демак  $\frac{\sin Q_{\beta}}{\sin Q_{\alpha}} = \frac{\lambda_{\beta}}{\lambda_{\alpha}} = 0,9009$  *yoki*  $\sin Q_{\beta} = 0,9009 \sin Q_{\alpha}$

Амалда рентгенограммада кучли чизиклар танлаб олинади ( О.с., 0., Ср. ). Булар  $\alpha$  чизиклари деб тахмин қилинади шу чизиклар жойлашган бурчак бўйича (2) формуладан  $\sin Q$  ҳисобланади. Агарда шу  $\sin Q$  га тўғри келган + бурчакда, чизик топилса ва унинг интенсивлиги 4-5 бароварга нисбатан кичик бўлса. Демак бу икки чизик битта НКЛ текисликда пайдо бўлган. Агарда шундай  $Q$  чизик топилмаса, демак у шунчалик кучсизки-рентгенограммага чиқмай қолган.<sup>30</sup>

Q-чизиклар мавжудлигини топиш учун кўпинча интенсивлиги кучсиз бўлганларининг бир қисми текширилиб олинади.

Рентгенограммада энг биринчи чизик кўпинча  $Q$  чизик бўлади.

### **Ишни бажариш тартиби.**

3.1. ДРОН-2,0 ёки ДРОН-3 рентген дифрактометри гониометрига текис наъмуна ўрнатилади.

3.2. Дифрактометрда керакли ишлаш режимлари ўрнатилади: "предел измерений"-2, "постоянная времени"-10, тирқишлар (шели)-2-2-1. Ҳисоблагич тезлиги – 8мм/мин, диаграмма қоғози тезлиги - 360 мм/соат.

3.3. Рентгенограмма диаграмма қоғозига олинади.

3.4. Рентгенограмма потентциометрдан керакли узунликда кесиб олинади. Ҳисоблашда ДРОН-2,0 да аноди темирдан ( Щм Щм), ДРОН -3.0 да эса кобалтдан ( Щм Щм), ясалган трубка борлигини эътиборга олиш зарур. Ҳисоблаш (1) ва (2) формулалар ёрдамида бажарилади. Чизик жойлашган бурчак диаграмма қоғозидан топилади (одатда ёзиш қайси бурчакдан бошланганлиги ва диаграмма билан ҳисоблагич юриш тезлиги маълум).

3.5. Ҳисоблаш натижалари қуйидаги 1.1.-жадвалга ёзилади.

<sup>29</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 265-270 p.p.)

<sup>30</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 270-285 p.p.)



Фазалар атом текислари оралиғини ҳисоблаш натижалари.

Дастлабки маълумот. Текширилган намуна ..... темир қотишмаси.

Нур чиқиши .....темир (ёки кобальт) анодидан.

1-жадвал

Чизилган чизиқлар тартид рақами	Интенсив лиги J	Қайти ш бурчаг и $\theta$			Чизи қ лар	Ҳисоблаг анда	Жадвалд аги	Модда тури
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Илова: Ҳисобланган ва жадваллардан олинган қийматлар фарқ қилиши мумкин. Чунки жадвалларда жуда тоза фазалар учун маълумот берилган. Фаза таркибида бошқа қўшимча пайдо бўлиши билан бир оз ўзгаради (0,01-10 мм гача).

4. Ҳисоботни ёзиш тартиби.

4.1. Ишни бажаришдан мақсад.

4.2. Рентгенограмма олиш режимлари.

4.3. 1-жадвални тўлдириш.

5. Мустақил тайёрланиш учун саволлар.

5.1. Вулф-Брегг формуласига қандай параметрлар киради?

5.2. Кристаллография текслиги ва рентген чизиқини индекси деганда нима тушунилади?

5.3. Атом текислиги оралиғига асосида, қандай қ илиб модда турини топиш мумкин?<sup>31</sup>

### Назорат саволлари:

1. Қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятлар Фаза ўзгаришлар термодинамикасини изохлаб беринг .
2. Фаза ўзгаришларда фазалараро чегараларни тузилишининг роли .
3. Гомоген ва гетероген фазаларнинг ҳосил бўлиши қандай амалга оширилади ?

<sup>31</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (250-270 p.p.)

4. Фаза ўзгаришларининг кинетикаси тушунтириб беринг .

**Фойдаланилган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007

**2-амалий машғулот:**

**Ўтказувчан полимерлар ва керамика. Термoeлектрик материаллар**

**Ишдан мақсад:** Алюминий оксиди асосли керамик асбобсозлик материаллар микроструктурасининг тахлили.

**Масаланинг қўйилиши:** *Алюминий оксиди асосли керамик материалларнинг микроструктураларини тахлил қилиш қоидалари ва усулларини ўргатиш ҳамда у орқали керамик материалларни сифатига баҳо бериш илмларини эгаллаш.*

**Керакли жихозлар:** *Металлогрофик микроскоп МИМ-7, шлиф тайёрлаш ускунаси, намуналар, реактивлар.*

**Ишни бажариш учун намуна:**

Асбобсозлик керамик материаллар асосан кийин эридиган юқори ейилишга, иссиққа бардош юқорикимёвий турғунлик даражасига эга бўлган кимёвий бирикмалардан олинади. Бундай талабларга жавоб берувчи моддаларга энг аввало алюминий оксиди ( $Al_2O_3$ ), кремний нитрид ( $Si_3N_4$ ), ҳамда Si-Me-O-N дан иборат бўлган оксинитридли фазалар кириб, кремний атомини ўрнини Al, Mg, Be, Ti, Zn табиатда кенг тарқалган металл атомлари билан алмаштирилган бўлади.

Бундай кимёвий бирикмалардан ясалган керамик асбобсозлик материаллар оддий керамик материаллардан тозалиги ва ишлаб чиқариш технологияси билан фарққилади. Ҳозирги пайтда асбобсозлик керамик материаллар асосан Япония, АКШ, Германия мамлакатларида кенг ишлаб чиқарилиб, улардан ҳар хил материалларга механик ишлов беришда,

ейилишга чидамли, оловга, иссиққа, ҳар хил кимёвий агрессив муҳитга бардош қопламалар қоплашда кенг қўланилмоқда.

**Алюминий оксиди** – Алюминий оксиди асосан табиатда кенг тарқалган, таркибида алюминий бўлган минераллардан (боксид) олинади. Табиатда алюминий оксидининг турли кристалл модификация турлари мавжуд бўлиб улар: гексаганал, куб  $\beta$ , ва нотурғунд гексагонал, моноклик  $\theta$  кристалл панжараларга эга. Гидратланган алюминий бирикмаларига гидрагалит ( $Al_2(OH)_2$ ), байерит, кириб улар қуритилганда ҳар хил модификацияга эга бўлган алюминий оксидларини ҳосил қилади .

$\beta$ - $Al_2O_3$  соф модификацияси бўлмасдан таркибида  $Al_2O_3$ кўп фоизга эга бўлган мураккаб кимёвий тузилишга эга бўлган бирикма. Унинг тахминий кимёвий таркиби  $MeO \cdot 8 Al_2O_3$  ва  $Me_2O \cdot 11 Al_2O_3$ . бу ерда Me-ўрнида CaO, BaO, ZrO ва бошқа элементлар бўлиши мумкин.

Алюминий оксиди боксид таркибида турли модификациялардаги бимит, гидрагалит ва байерит турдаги майда дисперсли гидрооксид шаклида бўлиб у унда бошқа металллар атоми билан кимёвий боғланган ҳолда бўлади. Боксиддаги алюминий оксид миқдори 50 дан 100% гача бўлиши мумкин. Хомашёнинг сифатига қараб уни тозалаш технологияси нам ишқорий ёки куруқ ишқорий усулларда олиб борилиши мумкин. Нам ишқорий технология буйича боксид автоуловларда 200-250<sup>0</sup> С температ, 2,0-2,5 МПа босим остида натрий гидрооксидида ишлов берилиб сувда эридиган натрий алюминат олинади.

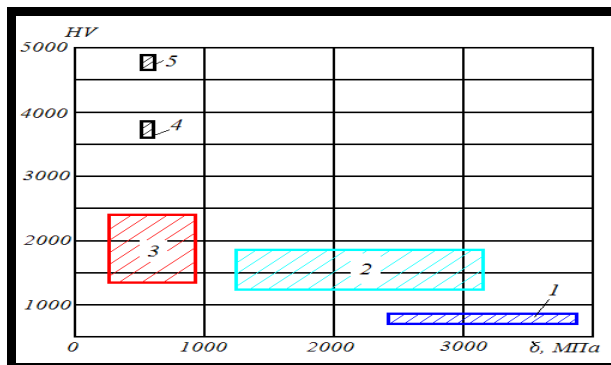
Натрий алюминатнинг сувдаги эритмаси филтрдан ўтказилиб барча қаттиқ ва натрий гидрооксидида эримайдиган элементлардан тозаланади. Тозаланган натрий алюминат парчалаб алюминий гидрооксиди чўкмаси ҳосил қилинади. Чўкма оқ рангда бўлиб у яхшилаб ювилади ва 1200<sup>0</sup> С температурада қуритилади[3]. Қурутиш натижасида бир хил таркиб ва кристалл модификациясига эга бўлган алюминий оксиди ҳосил бўлади.

Бундай усулда олинган хомашё таркибида асосан  $Na_2O$  бўлиб у материалнинг механик ва бошқа хоссаларига ёмон таъсир кўрсатади шунинг учун  $Na_2O$  миқдори 0,1% ортмаслиги талаб этилди[4]. Боксиддан олинган алюминий оксид кукун заррачаларининг ўлчамлари 0,01 мкм ташкил этади.

**Алюминий оксидли асбобсозлик материалларининг асосий механик хоссалари**

Материалларга механик ёки бошқа турдаги ишлов бериш асбобсозлик материалларда юқори қаттиқлик, эгилиш ва сиқилишда юқори мустаҳкамликка, юқори температураларда ейилишга бардошли бўлишлигини талаб этади.

2.1 – расмда барча турдаги асбобсозлик материалларининг қаттиқлиги ва эгилишдаги мустаҳкамлиги келтирилган диаграмма тасвирланган бўлиб материалнинг қаттиқлиги ортиши билан мустаҳкамлик пасайишини кўриш мумкин.



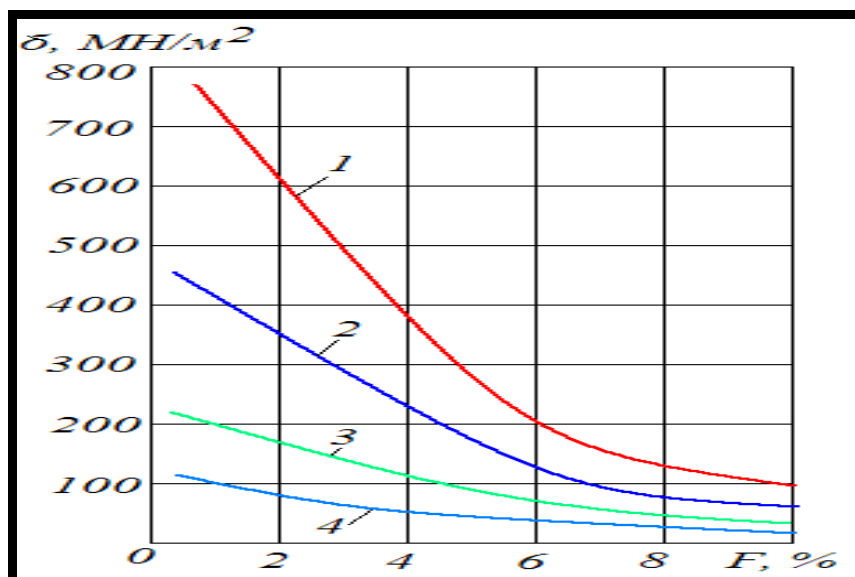
2.1-расм. Қаттиқлик билан мустаҳкамликни кўрсатувчи диаграмма:

1-тезкесар пўлатлар; 2-қаттиқ қотишмалар; 3-керамик асбобсозлик материаллар; 4-нитрид бор; 5- олмос.

Асбобсозлик материалларда қаттиқлик ҳам мустаҳкамлик ҳам катта аҳамиятга эга бўлиб у материалнинг эксплуатацияга лаёқатлилигини белгилаб беради. Алюминий оксидини табиий қаттиқлигини сақлаб қолган ҳолда уни мустаҳкамлигини ошириш ҳозирги кунда асосий мақсадлардан бири бўлиб уни амалга оширишнинг турли усуллари мавжуд.

Алюминий оксиди кукун металлургияси усулларида ишлаб чиқарилгани учун унинг структурасидаги ғовакликлар механик хоссаларга кескин таъсир қилади. 7.2-расмда алюминий оксиди асосли керамик материал ғовакликнинг эгилишдаги мустаҳкамликга таъсири кўрсатилган.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 310-315 p.p.)



2.2-рasm. Материал ғоваклининг мустаҳкамликка таъсири;  
1-кукун ўлчами 2,2 мкм; 2-3 мкм; 3-20 мкм; 4-30 мкм.

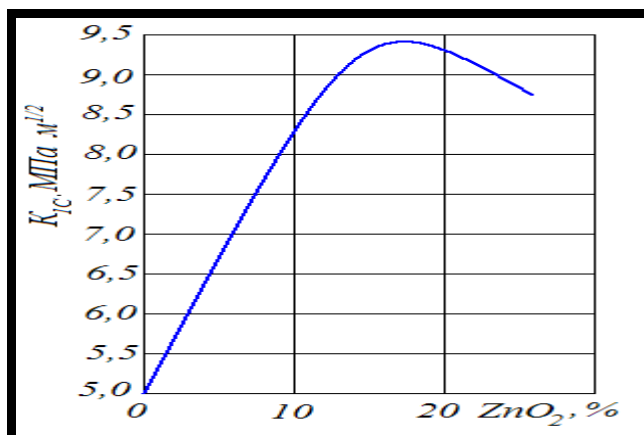
Диаграммадан кўриниб турибдики ғоваклик микдори ва кукун заррача ўлчами материалнинг мустаҳкамлигига катта таъсир кўрсатяпти. Материал ғоваклинини камайтиришнинг энг самарали усулларида бири бу иссиқлайин пресслаш, бўлиб у материалдаги ғоваклик микдорини 1% кичик бўлган қийматларгача камайтиради. Кукун заррачасининг ўлчами хомашёнинг ишлаб чиқариш турига қараб ўзгариши мумкин.

Алюминий оксид кукунлари қиздириб пишириш жараёнида бир бирга бирикиб донани катталашига олиб келадиган жараёнга жуда мойил бўлади. Бу эса қандай кукунни бўлишлигидан қатъий назар қиздириб пиширилган материал заррачалари яна бир хил катталиқка олиб келади.

Кукунларни йириклашиб кетишни олдини олиш мақсадида Япон мутахассислари томонидан цирконий оксиди билан легирлаш технологияси ишлаб чиқилган [4]. Цирконий оксиди қиздириб пишириш давомида ҳар бир алюминий оксидини қамраб олиб уни кескин йириклашиб кетишига тўсқинлик қилади ва майда донали материал олишга имкон беради.

Алюминий оксид асосли материалларнинг асосий камчилиги бу уларнинг юқори мўртлиги бўлиб, улар мўрт синишга жуда мойил бўладилар[5]. Материал мўрт синишига асосий сабаб улардаги ички микродарзлар бўлиб улар кичик кучланишлар натижасида транс кристалл дарзларга бирлашади ва материал эксплуатация жараёнида ёки оддий кичик кучлар таъсирида синади.

2.3-расмда цирконий оксидининг миқдори алюминий оксиди асосли материалнинг дарзга бардошлигини ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма келтирилган бўлиб унда цирконий оксид миқдори ортиши материалнинг дарзбардошлигини ошириши кўрсатилган.



2.3-расм Цирконий оксид миқдорининг алюминий оксиди асосли материал дарзбардошликга таъсири

Алюминий оксиди асосли материалларнинг асосий механик хоссаларидан ейилишга бардошлиги бўлиб у ундан ясалган асбоб ва деталларнинг ишлаш муддатини белгилаб беради.

Материалларнинг ейилишга бардошлиги деганда жуфт бўлиб бир бирида ишқаланиб ишлаётган материалнинг маълум тезлик, босим ва белгиланган вақт ичида қанча ҳажмда ёки масса бирлигида материал камайганлик миқдори билан белгиланади. 7.2-жадвалда баъзи керамик материалларнинг ейилишга бардошлигини келтирилган [2].<sup>33</sup>

Жадвал 1.

Керамик материалларнинг ейилишга бардошлиги

Материаллар	Қаттиқлик HV, ГПА	Ейилиш тезлиги 10 <sup>-15</sup> см <sup>3</sup> /Г·см
Олмосли композит	80	5,55
Si <sub>2</sub> N <sub>4</sub>	26,7	152,0
SiC	20,0	42,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,1	2,04
WC-Co		

<sup>33</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (320-325p.p.)

Олинган натижаларга кўра материалнинг қаттиқлиги унинг ейилишга бардошлигини белгилаб бермаслигини кўрсатади.

Материалларга механик ёки бошқа турдаги ишлов беришда асбобсозлик материаллари қаттиқликдан ташқари ейилишбардошлиги катта аҳамиятга эга чунки, механик ишлов беришда ишқаланиш содир бўлади у эса ишлаётган ва ишлов бераётган материалнинг тезда ейилишига олиб келади.

Ейилишнинг бир нечта тури бўлиб, улардан асосийси абразив ейилиш ва ишқаланиб сидириш киради. Бу турдаги ейилишлардан кесиш жараёнида сидириш ейилиши кузатилади.

Алюминий оксид асосли материалларнинг ейилишга бардошлигини унинг механик хоссаларига боғлаш аниқ натижаларни бермади [5]. Шунинг учун барча материалшунос олимлар бу муоммаларни устида илмий ишлар олиб бормоқдалар.

Алюминий оксид асосли асбобсозлик материалларни яратишда асосан амалиёт қонунига риоя этган ҳолда ишлаб чиқарган маъқул.

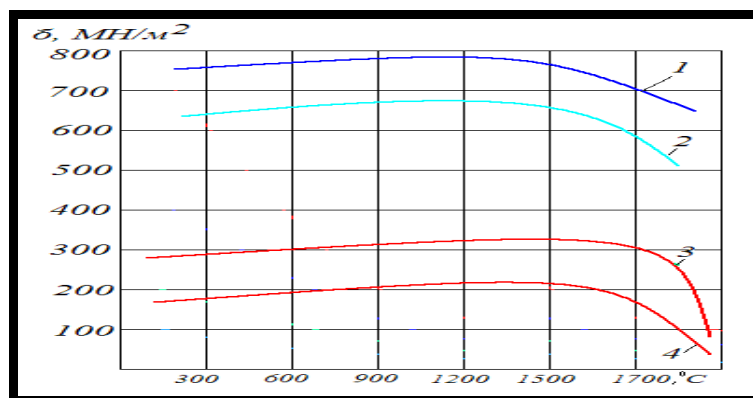
Алюминий оксид асосли материалларнинг кимёвий хоссаларига асосан материалнинг бошқа элементлар билан реакцияга киришувчалиги киради. Аксарият материалларнинг кимёвий хоссалари ҳарорат кўтарилиши билан сусаяди.

Алюминий оксид асосли материаллар жуда юқори кимёвий хоссаларга эга бўлиб, улар хона, юқори ва жуда юқори температураларгача шу хоссаларини сақлаб қолишади.

Асбобсозлик материалларнинг ишчи юзаларига турли эксплуатацион шароитларда катта босим таъсирида бўлади. Ишчи юзаларда ишқаланиш содир бўлиши натижасида жуда катта температура ажралиб чиқади. Буни натижасида асбобсозлик материаллари ишлов берилаётган материал, атроф муҳитдаги ҳаво ёки бошқа газлар билан бевосита кимёвий реакцияга киришиши мумкин. Бунинг оқибатида асбобсозлик материалларининг хоссалари ўзгариши мумкин. 7.4-расмда алюминий оксиди асосли материалнинг қиздириш температураси материал мустаҳкамликга таъсир диаграммаси келтирилган.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 275 p.p.)



2.4-расм. Температуранинг алюминий оксид материалнинг мустаҳкамликка таъсири: 1-кукун ўлчами 2,2 мкм; 2-3 мкм; 3-20 мкм; 4-30 мкм.

### Ишни бажариш тартиби:

1. Керамик материалдан юзаси 2 см<sup>2</sup> дан катта бўлмаган намуна кесиб ёки синдириб олинади
2. Намунани кейинги дастгоҳларда ишлов бериш қулайлигини ошириш учун улар дасталанади. Намунани ушлаш учун дасталаш 2.4-расмда кўрсатилгандек амалга оширилади. Намунани дастага маҳкамлаш учун 2.2-жадвалда кўрсатилган материаллардан бирини эритиб даста ва намуна тирқишига қуйилади. Бунда керамик материал намуна юзаси дастадан 1,5 – 2 мм чиқиб туришини таъминлаш керак.
3. Керамик материал намуна юзаси 33803 модели вертикал (доводочной) дастгоҳда текисланиб 3E881 жирвирлаш-полировкалаш дастгоҳида янада силлиқланади
4. Силлиқлаш жараёнида намуна юзасида синишлар ёки майдаланишлар бўлмаслиги учун уларни устидан босиб турган босим 0,6 – 0,8 кгс/см<sup>2</sup> дан ошмаслигини таъминлаш керак
5. Намуналарни силлиқлаш олдин 3803 модели жилвирлаш дастгоҳида чўян диск устига олдин AM14/28 маркали кейин AM/10 маркали олмос кукуни этил спирти билан ҳосил қилинган супсензияси шиша таёқча ёрдамида бир текис суркалиб силлиқлаш амалга оширилади
6. Намуна биринчи ва иккинчи силлиқлашдан ўтгандан кейин диск устига фотобумага ёпиштирилиб уни устига олдин AM7/5 кейин AM/2 олмос кукуни сепилиб ўтказилади
7. Қўшимча силлиқлаш яна шу дискда аммо AM1/0 маркали олмос кукунини трансформатор мойи билан аралаштириб диск устига суркалиб амалга оширилади.

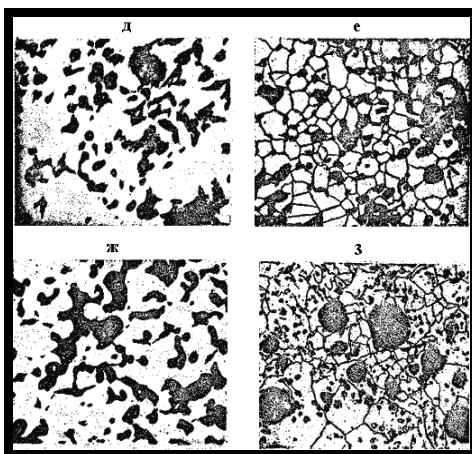


8. Силлиқлашдан ўтган намуналарнинг юзалари кўзгу каби ялтроқ бўлиши керак, унда чизиклар бўлмаслиги талаб этилади. У МИМ7 микроскопида х100 катталаштириб текширилади.

9. Керамик намунани юзаси силлиқлангандан кейин унинг юзаси махсус кислотада ишлов берилади, яъний ортофосфор кислотанинг буғида 40- 60 сек давомида ушлаб турилади. Бунда керамик материалнинг доналар чегараси ва материалдаги ғовакликлар аниқ кўрина бошлайди.

Травит қилишдан олдин микроструктура МИМ7 микроскопи ёрдамда 200 – 1500 мартаба катталаштириб расмга олинади, кейин уларни кислотада травит қилингандан кейин яна микроскоп ёрдамда катталаштирилиб расмга олинади.

2.5-расмда магний оксиди асосида ишлаб чиқарилган керамик материалнинг микроструктураси келтирилган. а, в, д – расмлардаги структура травит қилинмаган ва 10 сек давомида - б, 20 сек давомида – г ва 60 сек давомида травитқилинган – е, ҳамда  $MgO \cdot Al_2O_3$  асосли керамиканинг микроструктураси травит қилинмаган – ж ва травит қилинган - з. микроструктура тасвирланган.



2.5-расм. Оксид магний асосли керамик материалнинг микроструктураси<sup>35</sup>

### Назорат саволлари:

1. Алюминий оксидли асбобсозлик материалларининг кимёвий хоссалари қандай?
2. Асбобсозлик материалнинг ишчи юзаларига турли эксплуатацион шароитларда катта босим таъсир этса қандай ўзгариш содир бўлади?
3. Алюминий оксиди асосли материалларни санаб ўтинг.

<sup>35</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 278 p.p.)

### **Фойдаланилган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007

### **3-амалий машғулот:**

#### **Углерод асосли материаллар**

***Ишдан мақсад:** Антифрикцион углерод-графитли материалларни ишлаб чиқариш технологияси билан таништириш ҳамда уларни микроструктураларини таҳлил қилиш қоидалари ва усулларини ўргатиш.*

***Масаланинг қўйилиши:** Углерод графитли материалларнинг микроструктураси таҳлили*

***Керакли жиҳозлар:** Антифрикцион углерод-графитли материал, намуна кесиш учун кичик тишли арра, катта ва майда тишли эгов, катта донадан кичрайиб борадиган комплект жилвир қозғозлари, 200 г керамик стаканда конифол, конифолни эритиш учун электр қиздиргич, намунани ушлаш учун пинцет ва металлографик микроскоп.*

#### **Ишни бажариш учун намуна:**

Антифрикцион углерод-графитли материалларни асосан кукун металлургияси усуллари билан ишлаб чиқарилади. Кукун металлургиясининг умумий технологик усулларига қуйидагилар киради: кукун материалларининг кимёвий таркибини танлаш ва уларни ишлаб чиқаришга тайёрлаш, уларни аралаштириш, пресслаш ҳамда қиздириб пишириш жараёнларидан ташкил топган.<sup>36</sup>

Бунда ҳар бир босқичда амалга ошириладиган жараён шу ишлаб чиқарилиши керак бўлган материалларнинг физик-механик хоссаларига катта таъсир кўрсатади. Шу сабабли ҳар бир босқичнинг таъсири, берилган

---

<sup>36</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (302-305 p.p.)

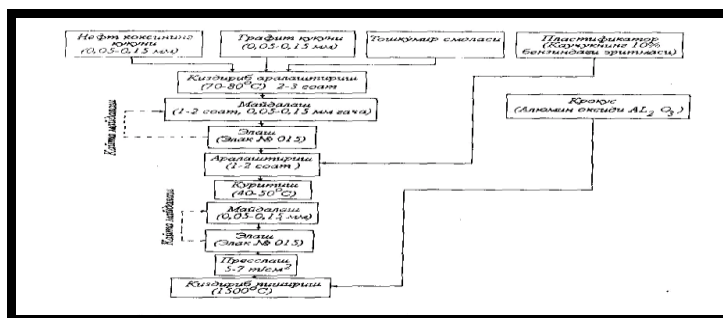
кукун материалларини хоссасидан келиб чиққан ҳолда белгиланади. Масалан: кукун материалларини тайёрлашда, кукун материални керакли температураларда қуритиш керак бўлади. Бу температура кукуннинг физик-кимёвий хоссаларидан келиб чиққан ҳолда белгиланади. Агарда температура юқори чегараларда белгиланса, унда кукунлар бир-бирига ёпишиб қолиши кузатилади, аксинча паст чегараларда белгиланса, унда кукундаги намлик қолиб кетади ва натижада қиздириб пишириш давомида мақсулотда дарз кетишлар кузатилади.

Углерод-графит материалларини ишлаб чиқариш учун хомашё сифатида асосан нефт, кокс кукуни, графит кукуни, тошкўмир смоласи қўлланилади. Бундан ташқари углерод-графит материалларига у ёки бу хоссасини ошириш учун турли металл ва нометалл кукунлар киритилиши мумкин.

Антифрикцион углерод-графитли материалларини ишлаб чиқаришда хомашё сифатида қўшиладиган нефт коксининг асосий хоссаларидан бири у материалда мустаҳкам каркас ҳосил қилиб материалнинг скелетини ҳосил қилади. Бунда унинг доначалар ўлчами ишлаб чиқарилаётган материалнинг механик хоссаларига катта таъсир кўрсатади, кокс кукунининг заррача доначалар қанча кичик бўлса, углерод-графит материалнинг механик хоссалари шунча юқори бўлади.

Углерод-графит материалга киритиладиган тошкўмир смоласи эса материалнинг боғловчи компоненти ҳисобланади. Боғловчи компонент асосий хомашё сифатида киритиладиган материалнинг эгилишдаги мустаҳкамлигини таъминлайди.

6.1-расмда антифрикцион углерод-графитли материални кукун металлургия усулларида ишлаб чиқаришнинг технологик схемаси келтирилган:



6.1-расм. Углерод-графитли антифрикцион материалларни ишлаб чиқариш технологик схемаси.

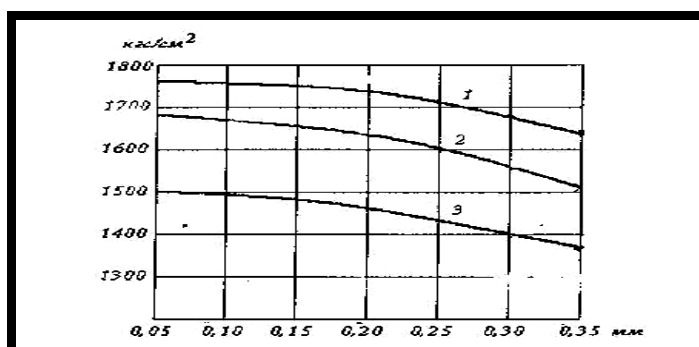
**Нефт коксини тайёрлаш.** Кукун металлургияси корхоналарида углерод-графитли материалларни ишлаб чиқариш учун стандартга жавоб берувчи нефт кокси ишлатилади. 6.1- жадвалда ГОСТ 3278-48 бўйича коксга техник талаблар кўрсатилган.<sup>37</sup>

ГОСТ 3278-48 бўйича нефт коксини қабул қилишдаги техник талаблар			
Курсаткичлар	Электрод учун	Электр шетка учун	Антифрикцион материаллар учун
Намлиги, %	3,0	3,0	3,0
Куллилиги, %	0,3	0,8	0,5
Олтингургурт микдори, %	1,0	1,0	1,5
Учиб чикувчи моддалар, %	7,0	7,0	6,0
Темир оксиди, %	0,08	-	-
Кремний оксиди, %	0,07	-	-
1300° С куйдирилгандан кейинги солищтирма огирлиги, г/см <sup>3</sup>	2,08	2,14	2,14

6.1-жадвал

Юқоридаги талабларга жавоб берувчи нефт кокси 1300° С да 5 соат давомида қиздириб қуритилади. Қуритилган нефт коксини кукун заррача ўлчамлари керакли ўлчамга келтириш учун махсус тегирмонларда майдаланади ва майдаланган кокс кукунлари элакдан ўтказиб, фракцияларга ажратиб қуйилади.

6.2-расмда нефт кокс кукун заррача ўлчамининг углерод-графит материалнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигига таъсир қилишдиagramмаси келтирилган, бунда пресслаш босим микдори ошиши ва кукун ўлчамининг ўзгариши билан мустаҳкамлик ўзгариб бориши кузатилган.



6.2-расм. Нефт кокс кукун заррача ўлчами ва пресслаш босим қийматини углерод-графит материалнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигига таъсири: пресслаш босими 1 - 7 т/см<sup>2</sup>; 2 - 6 т/см<sup>2</sup>, 3 - 5 т/см<sup>2</sup>.

<sup>37</sup>E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 345-346 p.p.)

Нефт коксини корхона шароитида кукун зарчасини 0,05 мм ўлчамгача майдалаш мумкин, бундан ташқари унда оз бўлсада 0,05 мм дан катта ўлчамга эга бўлган кукунлар бўлади.

**2. Графит кукунини тайёрлаш.** Графит кукунини антифрикцион материалларга асосан ишқаланиш коэффицентини кичрайтириш ёки уни электр ўтказиш хоссаларини ошириш мақсадида қўшилади. Графитнинг миқдори материалнинг углерод-графит мустаҳкамлигига катта таъсир қилади. 6.3 - расмда графит кукун миқдорининг углерод-графит материалнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигига таъсир қилиш диаграммаси келтирилган.

Графит антифрикцион материалнинг пластиклигини оширади, у кокс каркас қатламларида жойлашиб, углерод-графит антифрикцион материали ишқаланиб ишлаш жараёнида у билан бирга ишқаланиб ишлаётган валнинг юзасига ёпишиб ишқаланиш коэффицентини пасайтиради.



6.3-расм. Графит кукун миқдори ва пресслаш босимининг углерод-графит материалнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигига таъсири: пресслаш босими 1 - 7 т/см<sup>2</sup>., 2 - 6 т/см<sup>2</sup>, 3 - 5 т/см<sup>2</sup>.

6.2-жадвалда антифрикцион углерод-графитли материалларни ишлаб чиқаришда қўлланиладиган графит кукунининг кимёвий таркиби берилган.

6.2-жадвал

Кукун металлургиясида ишлатиладиган графитнинг кимёвий таркиби						
Графит	маркаси	Кимёвий таркиби, % гача				
		кул	олтингурут	Учувчи моддалар	темир	намлиги
Тайгинский	ЭУГ-1	2	0,20	0,8	0,8	0,8
«	ЭУГ-11	5	0,20	1,0	1,0	0,8
«	ЭУГ-111	7	0,20	1,0	1,0	0,8
Ногинский	СКЛН	13	1,0	2,0	1,9	2,0
Ботоголский	ТУЗ8-54	7	0,30	1,4	1,0	1,0

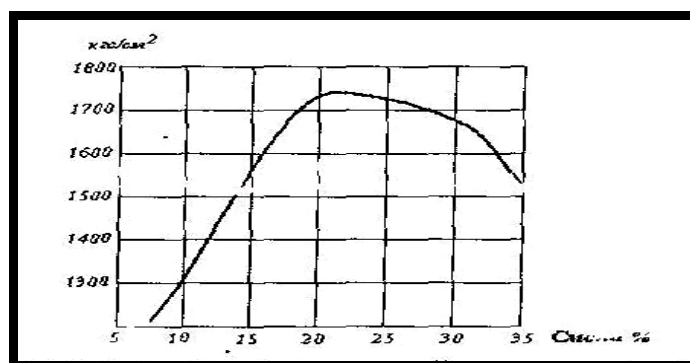
Графит 1300-1500° С температурда куйдириб куритилади ва элакдан ўтказилиб, фракцияларга ажратилади.

**3. Тошкўмир смоласини тайёрлаш.** Тошкўмир смоласи, тошкўмирни ҳавосиз муҳитда қиздириб ҳайдаш натижасида олинган хомашё бўлиб, унинг суюқланиш температураси смоланинг келиб чиқишига қараб ҳар-хил бўлиши мумкин. Кукун металлургиясида асосан паст ва ўрта ҳароратларда суюқланадиган тошкўмир смолалари ишлатилади. 6.3-жадвалда ГОСТ 4492-55 стандарт талаблар билан углерод-графит материалларини ишлаб чиқаришда қабул қилинадиган тошкўмир смоласига техник талаблар келтирилган.<sup>38</sup>

6.3.-жадвал

ГОСТ 4492-56 стандарт буйича тошкўмир смоласига қўйилган талаблар

Кўрсаткичлар	Миқдори, % гача
Солиштирма вазни	1,15-1,20
Намлиги	4,0
Куллилиги	0,2
Эримайдиган қолдиқлар	7,0
Олтингугурт	0,8
Нафталин	8,0
Кокс чиқими	16-23



6.4-расм. Тошкўмир смоласининг углерод-графит материалнинг чўзилишдаги мустаҳкамлигига таъсири.

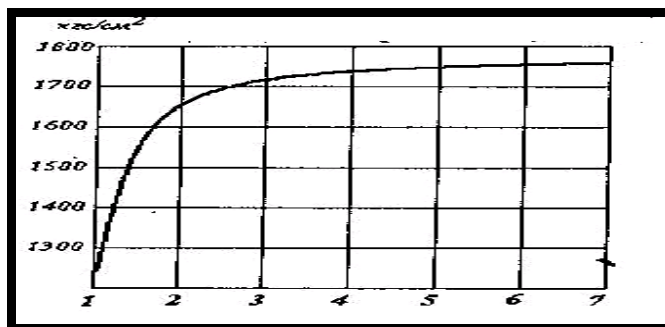
Бундан кўриниб турибдики, максимал мустаҳкамлик углерод-графит антифрикцион материаллар учун тошкўмир миқдори 22-23% бўлганда эриши мумкин, бунинг сабаби, унинг миқдори ошган сари кокс ва графит кукунларинн бир-бирига боғлаш даражаси ҳам ортиб боради ва ниҳоят 22-23% га етгач, мустаҳкамликнинг кескин тушиб кетиши кузатилади.

Тошкўмир смоласи миқдорининг бундай таъсир қилишини қуйидагича тушунтириш мумкин: тошкўмир смоласи материални қиздириб пишириш

<sup>38</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 ( 315-3180 p.p.)

давомида 1400-1500° С температурада коксга айланади ва кукунларни бир-бирига боғлайди, лекин унинг миқдори ошгач материалнинг ғоваклиги ошиб кетади, натижада мустақамлиги кескин пасаяди.

**4. Кукун ва боғловчи моддаларни бир-бирига аралаштириш.** Кукун металлургия йўли билан олинadиган материалларнинг аксариятида физик-механик хоссалари айнан аралаштириш сифатига қараб белгиланади. Боғловчи модданинг аралашishi ва кукунларни қоплаб олиши, аралаштириш даражасига боғлиқ. Боғловчи модданинг қўлланиш хусусияти смолани қиздиришдаги ҳарорати ошиши билан ортади, шунинг учун тошкўмир смоласи кукунлар билан бирга 70-80° С температурада қиздириб аралаштирилади. Бундан ташқари аралаштириш вақти ҳам катта аҳамиятга эга. 2-24 соат давомида аралаштирилган материалларнинг хоссалари бир-бири билан катта фарқ қилиши мумкин, қанча кўп аралаштирилса материалнинг физик-механик хоссалари шунча кўтарилиб боради. 6.5-расмда кукун материалининг боғловчи мода-тошкўмир смоласи билан аралаштириш вақтини материалнинг сиқилишдаги мустақамлигига таъсири кўрсатилган.



6.5-расм. Кукун материалларни боғловчи моддалар билан аралаштириш вақтини материалнинг сиқилишдаги механик мустақамлигига таъсир диаграммаси

**5. Аралашмаларни майдалаб элакдан ўтказиш.** Маълумки боғловчи модда, яъни тошкўмир смоласи кукун материаллари билан аралаштирилгандан кейин совиш натижасида, қотиб қолади. Уни яна кукун ҳолига келтириш учун майдалаш керак. Бунинг учун аралашма махсус қирғич, майдалаш ва элаш жараёнларидан ўтказилади, бунда у яна кукун ҳолига қайтади. Элаш жараёнида ажралиб чиққан катта кукун зарралари яна майдалашга қайтарилади.

**6. Пластификатор қўшиш.** Маълумки прессланган кукун материали мустақамлиги жуда кичик бўлади. Прессланган материални қиздириб

пишириш учун, у печларга, яъни пишириш цехларига жўнатилади, шу технологик жараёнларда прессланган материал ўз шаклини сақлаб туриши учун, уни мустаҳкамлигини ошириш керак бўлади. Шу мақсадларда прессланиши керак бўлган ярим маҳсулотга пластификатор қўшилади.

Пластификатор сифатида: парафин, глицерин, техник крахмал ва каучук эритмалари солинади. Пластификаторларга қуйиладиган асосий талаб: қиздириб пишириш давомида материал билан кимёвий реакцияга киришмаслиги ва 300-500° С температураларда парчланиб, материални тарк этиши киради. Пластификатор миқдори материалларда яна қўшимча ғоваклик бўлишига олиб келади, шу сабабли унинг миқдори иложи борича, камрок, бўлишлиги талаб этилади, одатда, масалан 10% каучукнинг бензиндаги эритмаси 5-8% фоиздан ошмайди.

**7. Кукун ярим маҳсулотларни қуритиш.** Тайёрланаётган кукун ярим маҳсулотларга учувчи моддаларни, жумладан бензини чиқдириб юбориш мақсадида, кукун ярим маҳсулотлар қуритиш жараёнидан ўтиши керак, бунда температура ва вақт ярим маҳсулотлар таркибидаги аралашган моддаларнинг суюқланиш ва парчланиш температурасидан келиб чиққан ҳолда белгиланади.

Антифрикцион углерод-графитли материалларда ярим кукун маҳсулот таркибида тошқўмир смоласи бор, у 60-70° С температурада суюқланади, шуни инобатга олган ҳолда қуритиш температураси 45—50° С деб белгиланади, температура унчалик катта бўлмаганлиги боис қуритиш вақти 10-15 соат деб белгиланади. Агар қуритиш сифатсиз амалга оширилса, унда прессланган углерод-графит материалларини қиздириб пишириш жараёнида паст 60-150° С температураларда ажралиб чиқаётган буғлар материалда дарз келтириб чиқаради.<sup>39</sup>

**8. Пресслаш.** Кукун металлургиясида ишлаб чиқариладиган материалларга пресслаш йўли билан шакл берилади, бунда пресслаш бир нечта усулларда амалга оширилиши мумкин, улардан энг оддийси ва арзони бу махсус пресс-қолипларда 1 ёки 2 томонлама пресслашдир.

Пресслашда материалнинг ўлчамлари катта аҳамиятга эга, маҳсулот ўлчами қанча кичик бўлса, уни пресслаш шунча осон бўлади, негаки

---

<sup>39</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (350-365 p.p.)

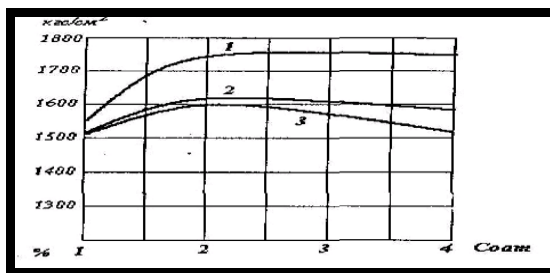


пресслашда маҳсулотнинг ўлчами катта бўлса, пресслаш босими унинг барча ҳажмий нукталарига бир хил етиб бормади, натижада битта деталда ҳар хил зичлик ва механик хоссалар мавжуд бўлиб қолади. Пресслаш босими қанча катта бўлса, механик хоссалар шунча катта бўлади, буни сабаби шундан иборатки, пресслаш босими материалдаги ғовакликка катта таъсир кўрсатади ва у қанча катта қийматда бўлса, ғоваклик шунча кам бўлади. Лекин босим миқдори пресс-қолип, пресслаш ускунаси ва кукун прессланиш кўрсаткичларига қарабмаксимал қиймати белгиланади.

Антифрикцион материалларни ишлаб чиқаришда оддий пресслаш амалга оширилади, бунда унинг босими 5-7 т/см<sup>2</sup> қилиб белгиланади ва пресс-қолиплар шу босимга узоқ, муддат бардош берувчи қилиб ясалади.

**9. Қиздириб пишириш.** Қиздириб пишириш кукун металлургия усулларининг энг муҳим боскичларидан бири бўлиб, бунда прессланган ярим маҳсулотга физик- механик хоссалар берилади.

Углерод-графитли антифрикцион материаллар 3 зонали печларда пиширилади, бундай печлар асосан графит материалдан ясалган қиздириш қурилмасига эга бўлади. 3 та зонадан иборат бўлган печ 1-зонасида 400° С, 2-зонасида 700° С, 3-зонасида 1500° С температураларда қизиб туради, натижада печга жойлаштирилган ярим маҳсулот аста-секин қизий бошлайди. Бундан мақсад маҳсулотларни ички ва ташқи дарз кетишини олдини олишдан. иборат. 4.6-расмда углерод-графитли антифрикцион материалларни пишириш температура ва пишириш вақтининг давомининг углерод-графит материалнинг сиқилишдаги мустаҳкамдигига таъсири кўрсатилган.



4.6-расм. Қиздириб пишириш температура ва вақтининг материалнинг механик хоссасига таъсири: 1-1500°С, 2-1800°С, 3-2000°С.

Қиздириб пиширишда ҳарорат кўтарилгани билан углерод-графитли материалларнинг мустаҳкамлиги пасаяди, бунинг сабаби у 1500-2000°С температураларда материал таркибидаги кокс кукунлари графитлаша бошлайди ва вақт ўтиши билан бу жараён янада тезлашади.

Коксинг графитлашиши материалнинг антифрикцион хусусиятини яхшилайти ва пластиклигини оширади, пластиклиги ошгач, унинг мустаҳкамлиги тушади. 1500° С эса тошкўмир смоласи кокслана бошлайти ва вақт ўтгач кокс миқдори ортиб боради ва мустаҳкамлик ошади 2,5 - 3 соат вақт ўтгач мустаҳкамликка таъсир этмай кўяди, чунки тошкўмир смоласи батамом коксга ўтиб бўлади.

**Антифрикцион углерод-графитли материалларни микроструктура тахлили.** Антифрикцион углерод-графитли материалларни микроструктураларини текширишдан мақсад ундаги камчиликларни аниқлашдан иборат. Углерод-графитли материалларни микроструктурасини тадқиқот қилиш учун намуна шлифлари тайёрланади ва металлографик микроскоплар ёрдамида 50 - 2000 мартагача катталаштириб, уни ички тузилиши тахлил қилинади. Тадқиқот қилиш учун намуналар қуйидаги тартибда тайёрланади:

1. Антифрикцион материалдан керакли (кўлда ушлаб ишлов бериш имконини берувчи) ўлчамларда намуна қирқиб ёки синдириб олинади;

2. Намуна қиздириб эритилган конифолга солиб, ғовак тешиклари тўлгунча (12-24 соат) шимдиришга қўйилади;

3. Конифол шимдириб намуна совитилгандан кейин, намунанинг танланган текис юзаси жилвир қоғозларда олдин катта, кейин кетма-кет кичрайиб борувчи жилвир қоғозларда силлиқланади;

4. Намунанинг жилвир қоғозларда силлиқланган юзаси бахмал мато ўралган дискда хром уч оксидидан сепилиб ялтирагунча силлиқланади;

5. Намунанинг ялтиратилган юзаси металлографик МИМ-7 ёки ММУ-3 микроскопида 200-1500 марта катталаштирилиб структураси текширилади.

Структурани текшириш натижасида қуйидагиларни аниқлаш мумкин:

1 - намунадаги ғовакликлар ва микро дарзликлар (сарик, конифол рангида бўлади) борлигини;

2 - кокс ва графитнинг аралашганлик даражаси;

3 - графит ва кокс доначалари ўлчамлари;

4 - бегона қўшимча оксидлар ва бошқа камчиликлар борлиги аниқланади.

## **Ишни бажариш тартиби<sup>40</sup>**

Тингловчи амалий ишини бажариш учун антифрикцион углерод-графитли материалдан 5x20x30 мм ўлчамда майда тишли арра ёрдамида шлиф учун намуна кесиб олади. Кейин олдиндан электрқиздиргичда қиздириб эритилган конифолга намунани пинцет ёрдамида 12 соатга шимдиришга ташлайди. Шимдирилган намунани назарий қисмда айтилганидек шлиф тайёрлайди ва микроскоп ёрдамида структурасини текширади.

Кузатилган структурани фотокамера ёрдамида расмини ёки фотосурати микроскоп окуляридан тушириб олинади ҳамда ҳисобот дафтарига чизиб олгандан сўнг материални ишлаб чиқаришдаги технология босқичда йўл қўйилган камчиликларни топиб, уларни ҳисобот дафтарига ёзади.<sup>41</sup>

### **Назорат саволлари:**

1. Пластик деформатсия; ланишга қайси тушунчаларни киритиш мумкин
2. Қандай юкланиш натижасида толиқиш оқибатидаги синиш пайдо болади?
3. Фазаларни қайта кристалланиши қонуниятларини таҳлил қилишда қандай параметрдан фойдаланилади ?
4. Гомогенловчи (диффузияли) юмшатиш асосан қандай ҳолатдаги қотишмалар учун қўлланилади?
5. Совутишдаги температура ўзгариши қиздиришдаги тескари фаза ўзгаришлари температурасидан пастроқда жойлашишда рўй берадиган ҳодисага нима дейилади?

### **Фойдаланилган адабиётлар:**

1. Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
2. Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
3. T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008

---

<sup>40</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (370 p.p.)

<sup>41</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (345-365 p.p.)

4. E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007

#### **4- амалий машғулот:**

##### **Фазаси ўзгарувчан материаллар. Термохромик материаллар.**

**Ишдан мақсад:** *пўлатлардаги фазалар ўзгариши трансформациясининг критик нуқтасини аниқлаш усуллари билан танишиши ва унда критик нуқтани жойлашишига қараб легирловчи элементларнинг таъсирини ўрганиши.*

**Масаланинг қўйилиши:** *Фазаси ўзгарувчан материаллар. Қотишмани фазалар трансформацияси критик нуқталарига легирловчи элементларнинг таъсири ўрганиши*

**Керакли жиҳозлар:** *Қиздириш печи,намуналар, реактивлар, металлографик микроскоп МИМ-7, шлиф тайёрлаш учун ускуна.*

##### **Ишни бажариш учун намуна:**

Фазаси ўзгарувчан материалларга машинасозлик ва бошқа соҳаларда қўлланила-диган жуда кўп қотишмалар мисол бўла олади.Фазаси ўзгарувчан материалларга энг яхши мисол бўладиган материалларга – пўлатлар киради.

Пўлатларни қиздириш ва совутишда фазалар ўзгаришлари трансформацияси рўй берадиган критик нуқталар температурасини билиш пўлатларга термик ишлов беришда режимларни тўғри аниқлаш учун жуда муҳимдир.

Пўлатлардаги фазалар ўзгаришининг критик нуқтасининг ҳолати асосан, пўлатнинг кимёвий таркиби билан аниқланади. 1-расмда легирловчи элементларни пўлатнинг фазалар трансформациясининг критик нуқтасига А1 га таъсири тасвирланган.

Пўлатлардаги фазалар ўзгаришининг критик нуқтасини аниқлаш учун кўпинча қуйидаги усуллардан фойдаланилади: 1) пробали тоблаш; 2) термик таҳлил; 3) дилатометрик таҳлил.

*Ҳар бир усулни атрофлича изоҳлаб ва асослаб беринг.*

**2. Қотишмани фазалар трансформацияси критик нуқталарига легирловчи элементлар – никель, марганец ва хромнинг таъсирини аниқлаш усули.**

Ушбу амалий ишнинг асосий вазифаси - пўлатлардаги фазалар ўзгариши трансформациясининг критик нуқтасини аниқлаш усуллари билан танишиш ва уни критик нуқтани жойлашишига легирловчи элементларни таъсирини ўрганишдир.

Легирловчи элементларни фазалар трансформациясидаги критик нуқталарга таъсири 25Н3А, 21Н5А, 35Г, 40Г2, 20Х3 ва бошқа маркали пўлатларда ўрганилади.

Амалий иш диаметри 15 – 25 мм бўлган ва баландлиги 10 – 15 мм бўлган цилиндр кўринишдаги намуналарда пробали тобладан кейин ўтказилади.<sup>42</sup>

Ҳар бир пўлат маркасидан намуналар 675 дан то 950<sup>0</sup>С гача 25<sup>0</sup>С интервалда сувда тобланади. Ҳамма ҳолларда ҳар бир намунанинг қиздириш вақти намунани ўлчамига қараб 20-30 минутни ташкил этади. А<sub>с1</sub> ва А<sub>с3</sub> критик нуқталарга мос равишдаги температуралар соҳасида кўрсатилган нуқталарни жойлашиш ҳолатини аниқлаштириш учун намуналарни тоблаш ҳар 10<sup>0</sup> С да амалга ошириш мақсадга мувофиқ бўлар эди.

Ҳаммаси бўлиб, 6-8 та термик ишлов берилган намуналар керак бўлади. Ҳар бир намунанинг микроструктураси ўрганилади ва қаттиқлиги топилади. Ҳар бир пўлатнинг қаттиқлигини тоблаш учун мўлжалланган қиздириш температурасини ўзгаришига боғлиқ равишда график қурилади. Қаттиқлик эгри чизиғи ва микроструктура орқали пўлатлардаги фазалар трансформацияси критик нуқтаси аниқланади. Натижалар 1-жадвалга киритилади.<sup>43</sup>

1 – жадвал

Пробали тобладан сўнг турли маркали пўлатлардан тайёрланган намуналарни қаттиқлиги (HRC)

Тоблаш температура, <sup>0</sup> С	25Н3А	21Н5А	40Г2	20Х3	20ХН3А

<sup>42</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (350 p.p.)

<sup>43</sup> E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007 (495-496 p.p.)

**Топширик:** Ҳар бир пўлатдан тайёрланган намуналарни тоблаш температурасига қараб, қаттиқлиги ўзгаришини мотор асослаб беринг.

**Назорат саволлари:**

1. Икки фазанинг мувозанат турғунлиги температураси ( $T_0$ ) билан совишдаги ҳақиқий ўзгариш температураси орасидаги фарққа нима деб айтилади?
2. Изотермик ушлаб туриш вақтининг энг бошланғич даврида ўзгаришлар кузатилмайдиган даврга нима деб айтилади?
3. Ҳамма ҳодисалар ичида энг кичик температурада пухталанган металлни нисбатан мувозанат ҳолатига ўз-ўзидан ўтиш билан боғлиқ бўлган жараён нима?
4. Пўлатни фаза ўзгаришлардан юқорироқ температурагача қиздириш, бу температурада ушлаб туриш, сўнгра тез совитишдан иборат бўлган жараён нима?

**Фойдаланилган адабиётлар:**

- 1 Inagaki & Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014
- 2 Callister William D. , Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015
- 3 T Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008
- 4 E Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007

## V.КЕЙСЛАР БАНКИ

### “Кейс-стади” методи

«Кейс-стади» - инглизча сўз бўлиб, («case» – аниқ вазият, ҳодиса, «stadi» – ўрганмоқ, таҳлил қилмоқ) аниқ вазиятларни ўрганиш, таҳлил қилиш асосида ўқитишни амалга оширишга қаратилган метод ҳисобланади. Мазкур метод дастлаб 1921 йил Гарвард университетида амалий вазиятлардан иқтисодий бошқарув фанларини ўрганишда фойдаланиш тартибида қўлланилган. Кейсда очик ахборотлардан ёки аниқ воқеа-ҳодисадан вазият сифатида таҳлил учун фойдаланиш мумкин. Кейс ҳаракатлари ўз ичига қуйидагиларни камраб олади: Ким (Who), Қачон (When), Қаерда (Where), Нима учун (Why), Қандай/ Қанақа (How), Нима-натижа (What).

**1-КЕЙС:** Тоз суягининг сунъий эндопротези инсон танасига жойлаштирилди. Лекин, эндопротез жойлаштирилгандан кейин тоз суяги атрофида кучли оғриқ кузатилди, беморнинг аҳволи оғирлаша бошлади. Қайта операция қилиш орқали тоз суягининг снъий эндопротези олиб ташланди ва уни ишлаб чиқишда сунъий тоз суяги компонентлари учун қўлланиладиган учта асосий металл қотишмаларининг механик хоссалари ва коррозияланиш даражаси тўғри аниқланмаганлиги маълум бўлди.

Савол: Нима учун юқорида келтирилган хатоликка йўл қўйилди? Тоз суягининг сунъий эндопротезини ишлаб чиқишда қандай муҳим хусусиятлар инобатга олинмаган.

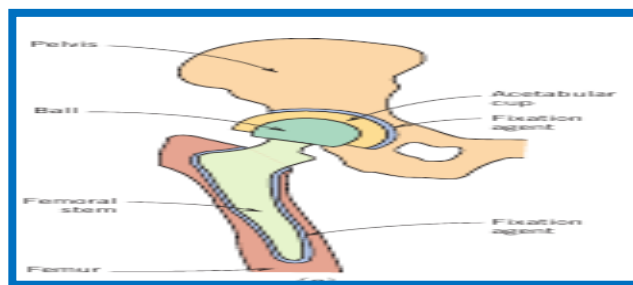
! Топшириқларни кетма-кетликда бажаринг ва кейс ечимини топинг

### Кейсни бажариш босқичлари ва топшириқлар

Босқичлар	Бажарилиши кўзда тутилган топшириқлар
1-босқич	Кейс билан танишинг муаммони келтириб чиқарган сабабларни аниқланг.
2-босқич	Тоздаги болдр суяги ўрнига қўйиладиган сунъий мослама учун нисбий материалларнинг биологик жихатдан тўғри келадиган олтита боғлиқлик комионентларини аниқланг.
3-босқич	Тоздаги болдр суяги учун ихтиро қилинган сунъий эндопротезлашнинг тўртта компоненти учун муҳим талабларга жавоб берадиган махсус материалларни

	келтиринг ва таҳлил қилинг
4-босқич	Сунъий тоз суягининг компонентларини йиғилишининг кетма-кетлигини белгиланг ва улар учун қўлланиладиган учта асосий металл қотишмаларининг механик хоссалари ва коррозияланиш даражасини таснифланг.
5-босқич	Содир этилган хатоликка нима сабаб бўлганлигини аиқланг ва муаммо ечимини топинг.
6-босқич	Кейс ечимига оид фикр-мулоҳазаларни билиринг.

Қуйидаги расмда сунъий тоз суягининг компонентларини йиғилишининг кетма-кетлиги кўрсатилган (қисмларга бўлинган ҳолда). Бу компонентлар (чапдан ўнга қараб) қуйидаги тартибда йиғилади: болдр қисми, копток қисми, айланиш учун қўйиладиган чашка қисми ва охирида айланувчи чашка қисми.



3-РАСМ. Тоз суягининг сунъий эндопротези

**Жадвал-1** Инсонларнинг узун суяқларининг параллел ҳамда перпендикуляр ўқ бўйича механик хоссаларининг таснифи

Хоссаси	Параллел суяк учун	Перпендикуляр суяк учун
Таранглик модули, ГПа	17.4	11.7
Чўзилишга мустаҳкамлик чегараси, МПа	135	61.8
Сиқилишга мустаҳкамлик чегараси, МПа	196	135
Синишда нисбий узайиши, %	3-4%	-





РАСМ. Тоз суягининг схематик кўриниши

Сунъий тоз суяги компонентлари учун қўлланиладиган учта асосий металл қотишмаларининг механик хоссалари ва коррозияланиш даражаси таснифи					
Қотишма	Таранглик модули, ГПа	Чўзилишга мустахкамлик чегараси, МПа	Синишда нисбий узайиши, %	Толиқишга кўрсатадиган мустахкамлик чегараси, МПа	Коррозияланиш даражаси, 1мкм/йилига
316L зангламайдиган пўлат	200	862	12	383	0.001-0.002
Co-28Cr-Mo	210	772	8	300	0.003-0.009
Ti-6Al-4V	120	896	10	580	0.007-0.04

**2-КЕЙС:** Метилен хлорид кимёвий моддаси билан олиб борилаётган лаборатория жарёнида кимёвий муҳофаза учун ишлаб чиқилган қўлқоп эриб кетиши оқибатида лаборантнинг қўллари куйиш жароҳатини олди. Лаборатория ходимларининг ҳолат юзасидан ўтказган текширувлари қўлқопни ишлаб чиқишда кимёвий муҳофаза қилиш кийими материаллини таъсир этиш вақти, диффузия коэффиценти ва материал қалинлигини ҳисобга олинмаган деган хулоса берилди.

Савол: Хулоса тўғри берилдими, бу ҳолата яна қандай факторлар сабаб бўлиши мумкин?

### Кейси бажариш босқичлари ва топшириқлар

Босқичлар	Бажарилиши кўзда тутилган топшириқлар
1-босқич	Кейс билан танишинг муаммони келтириб чиқарган сабабларни аниқланг.
2-босқич	Кимёвий муҳофаза қилиш кийими учун нисбатан тўғри келадиган ва 2та муҳим факторларга жавоб берувчи қандай материаллар танланишини аниқланг. Метилен хлорид кимёвий моддасига бардошли материалларни аниқланг.
3-босқич	Метилен хлорид кимёвий моддасидан сақланадиган махсус қўлқопларга материални таъсир этиш вақти, диффузия коэффициенти ва материал қалинлиги қай даражада бўлиши кераклигини илова жадвалида келтирилган 7 та махсус қўлқопларнинг таснифлари билан қиёслаган ҳолда аниқланг ҳамда метилен хлорид кимёвий моддасига бардошли қўлқоп ишлаб чиқинг
4-босқич	Муаммо келтириб чиқарган сабабларни аниқланг ва кейс ечимини топинг.
5-босқич	Кейс ечими юзасидан тақдимотни амалга оширинг.

Материал	Диффузия коэффициенти, $D(10^{-8}\text{см/с})$	Қўлқоп қалинлиги, $L(\text{см})$	Таъсир этиш вақти, $t(\text{соат})$	Юза концентацияси $S_A(\text{г/см}^3)$	Таъсир этиш даражаси (г/соат)	Нархи (USD \$)
Кўпқатламли	0.0095	0.007	24	11.1	0.43	4.19
Поли(винил алкоголь)	4.46	0.075	5.8	0.68	1.15	24
Витон	3.0	0.025	0.97	0.10	0.35	72

резина						
Бутил резина	110	0.090	0.34	0.44	15.5	58
Неопрен резина	92	0.075	0.28	3.53	125	3.35
Поли (винил хлорид)	176	0.070	0.13	1.59	115	3.21
Нитрил резина	157	0.040	0.05	2.68	303	1.56

## VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ

### Мустақил ишни ташкил этишнинг шакли ва мазмуни

Мустақил таълим “Илғор функционал материаллар” модули бўйича ишлаб чиқилган топшириқлар асосида ташкил этилади ва унинг натижасида тингловчилар битирув иши (лойиха иши) ни тайёрлайди.

Битирув иши (лойиха иши) талаблари доирасида ҳар бир тингловчи ўзи дарс бераётган фани бўйича электрон ўқув модулларининг тақдимотини тайёрлайди.

Электрон ўқув модулларининг тақдимоти қуйидаги таркибий қисмлардан иборат бўлади:

Кейслар банки;

Мавзулар бўйича тақдимотлар;

Бошқа материаллар (фанни ўзлаштиришга ёрдам берувчи қўшимча материаллар: электрон таълим ресурслари, маъруза матни, глоссарий, тест, кроссворд ва бошқ.)

Электрон ўқув модулларини тайёрлашда қуйидагиларга алоҳида эътибор берилади:

- тавсия қилинган адабиётларни ўрганиш ва таҳлил этиш;
- соҳа тараққиётининг устувор йўналишлари ва вазифаларини ёритиш;
- мутахассислик фанларидаги инновациялардан ҳамда илғор хорижий тажрибалардан фойдаланиш.

### Мустақил иш мавзулари:

1. Материалларда содир бўладиган мартенсит ўзгаришлари буюм материаллини шаклини сақлаш эффекти таъсири.
2. Хотирага эга бўлган функционал материаллар таркиби, хоссалари, структураси ва уларни ишлаб чиқариш.
3. Хотирага эга бўлган функционал материалларнинг саноатда ва халқ хўжалигида ишлатилиши.
4. Хотирага эга бўлган функционал материаллар тиббиётда ишлатилиш истиқболлари.
5. Хотирага эга бўлган янги функционал композицион материаллар
6. Углероднинг электрон – атом тузилиши ва ундаги гибридланиш
7. Углероднинг аллотропик шакл ўзгаришлар ва уларнинг содир бўлиш шароитлари
8. Углерод материалларнинг классификацияси
9. Графитнинг кристалл структураси
10. Хомашё материалларини ишлаб чиқаришга тайёрлаш технологияси
11. Боғловчи материалларга қўйиладиган асосий талаблари

12. Тўлдирувчи материалларга кўйиладиган асосий талаблар
13. Аралаштириш ва аралаштириш қурилмалари
14. Шакллаш, шакллаш турлари ва шакллаш қурилмалари
15. Шаклланган хомашё материалларга кўйиладиган асосий талаблар
16. Бошланғич шаклларга термик ишлов бериш турлари
17. Углерод материалларини ишлаб чиқаришда қўланиладиган термик печлар
18. Углерод материалларини графитлаш ва графитлаш қурилмалари
19. Углерод толалари ва уларнинг асосий физик-механик хоссалари
20. Углерод тола – керамик матрицага эга бўлган композициялар
21. Углерод тола – метал матрицага эга бўлган композициялар
22. Углерод тола – полимер матрицага эга бўлган композициялар
23. Углерод толага эга бўлган композицион материалларни қўлланиши
24. Углерод толаларини ишлаб чиқариш технологияси
25. Углерод толаларини ишлаб чиқаришдаги хомашё ва унга кўйиладиган талаблар
26. Углерод нанотрубкалари ва уларни ишлаб чиқаришда қўллаш
27. Синтетик олмос ва унинг асосий хоссалари

## VII. ГЛОССАРИЙ

(маъруза матнида учрайдиган асосий тушунчаларнинг ўзбек ва инглиз тилларидаги шарҳи)

Термин	Ўзбек тилидаги шарҳи	Инглиз тилидаги шарҳи
<b>Ликвидус</b>	Ликвидус чизигидан юқорида қотишма буткул суюқ ҳолатда бўлади.	On a binary phase diagram, the line or boundary separating liquid- and liquid solid-phase regions. For an alloy, the liquidus temperature is the temperature at which a solid phase first forms under conditions of equilibrium cooling.
<b>Феррит</b>	углероднинг $\alpha$ - темирга сингдирилган қаттиқ эритмаси	Ceramic oxide materials composed of both divalent and trivalent cations (e.g., Fe <sup>2+</sup> and Fe <sup>3+</sup> ), some of which are ferrimagnetic.
<b>Аустенит</b>	углероднинг $\gamma$ – темирга сингдирилган қаттиқ эритмаси	Face-centered cubic iron; also iron and steel alloys that have the FCC crystal structure.
<b>Перлит</b>	таркибида 0,8 % углерод мавжуд бўлган феррит ва цементитнинг механик аралашмаси	A two-phase microstructure found in some steels and cast irons; it results from the transformation of austenite of eutectoid composition and consists of alternating layers (or lamellae) of $\alpha$ -ferrite and cementite.
<b>Мартенсит</b>	углероднинг $\alpha$ - темирдаги ўта тўйинган сингдирилган	A metastable iron phase supersaturated in carbon that

	каттиқ эритмаси	is the product of a diffusionless (athermal) transformation from austenite.
<b>Амморф структура</b>	Аниқ элементга тўғри келадиган атомларнинг фазода нотўғри тартибсиз жойлашуви	Having a noncrystalline structure.
<b>Антифрикцион графит</b>	Жуда кичикишқаланиш коэффициентига эга бўлган графит	A phenomenon observed in some materials (e.g., MnO): complete magnetic moment cancellation occurs as a result of antiparallel coupling of adjacent atoms or ions. The macroscopic solid possesses no net magnetic moment.
<b>Аллотропия, полиформизм</b>	металларда температура таъсирида кристалл панжарасининг ўзгариши	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
<b>Изотропия</b>	Хоссаларнинг ҳар хил юналишда бир хиллиги	Having identical values of a property in all crystallographic directions.
<b>Анизотропия</b>	хоссаларнинг турли йўналишларда бир хил эмаслиги	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
<b>Адгезия</b>	юзалари тегиб турган турли жисмларнинг ўзаро бирикиб қолиши	substance that bonds together the surfaces of two other materials (termed adherends).
<b>Дислокация</b>	металлнинг атомлар силжиган (сирпанган) сохаси билан силжимаган сохаси орасидаги чэгара	A linear crystalline defect around which there is atomic misalignment. Plastic deformation corresponds to the motion of dislocations in response to an applied shear stress. Edge, screw, and mixed dislocations are possible.

<b>Диффузия</b>	тўйинтирувчи элементларни детал сиртидан ичкарига кириши	Mass transport by atomic motion.
<b>“Наноматериал”</b>	Элементларни шу ўлчамли заррачалари асосида олинган материал	A composite composed of nanosize particles (i.e., nanoparticles) embedded in matrix material. Nanoparticle types include nanocarbons, nanoclays, and nanocrystals. The most common matrix materials are polymers.
<b>Энергетиксигим ENERGY CONTENT</b>	Маълум миқдордаги ёнилғининг энергияси миқдори.	Amount of energy for a given <i>weight</i> of fuel.
<b>Энергия зичлиги ENERGY DENSITY</b>	Ёнилғининг маълум ҳажми учун энергия миқдори.	Amount of energy for a given <i>volume</i> of fuel.
<b>Эффективлик EFFICIENCY</b>	Ҳақиқий натижа билан назарий кутилаётган натижалар нисбати.	The ratio between an actual result and the theoretically possible result.
<b>Атом рақами (Z)</b>	кимёвий элементнинг атом ядросидаги протонлар сони.	For a chemical element, the number of protons within the atomic nucleus
<b>Биполяр транзистор</b>	электр сигналларни кучайтирадиган п-р-п ёки	For semiconductors and insulators, the energies that lie between the valence and conduction bands; for intrinsic materials, electrons are forbidden to have energies within this range.
<b>Бронза</b>	таркибини асосан мис ва калай ташкил этган қотишма; бронзалар	A copper-rich copper-tin alloy; aluminum, silicon, and nickel bronzes are also



	таркибида алюминий кремний, никель ва ҳ.к. бўлиши мумкин.	possible.
<b>Вакансия</b>	одатда кристалл панжарадан атом ёки ион чиқиб кетган жой.	A normally occupied lattice site from which an atom or ion is missing.
<b>Валентли электронлар</b>	атомлар аро боғланишларни хосил қилишда иштирок этадиган юқори энергияли электронлар	The electrons in the outermost occupied electron shell, which participate in interatomic bonding
<b>Вандерваальс боғланишлар</b>	қўшни диполлар орасида молекулалар аро доимий ёки хосил қилинадиган иккиламчи боғланишлар.	A secondary interatomic bond between adjacent molecular dipoles that may be permanent or induced.
<b>Винтсимон дислокация</b>	параллель текисликлар бир бирига нисбатан спираль хосил қилиб силжиши натижасидаги кристалларнинг чизиқли нуқсон.	The ratio of the magnitude of an applied shear stress to the velocity gradient that it produces—that is, a measure of a noncrystalline material's resistance to permanent deformation.
<b>Витрификация</b>	узликсиз матрицани хосил қилиб керамик махсулотни юмшатиш жараёнида совутилишда суюқ фазанинг хосил бўлиши.	During firing of a ceramic body, the formation of a liquid phase that, upon cooling, becomes a glass-bonding matrix.
<b>Водородли мўртланиш</b>	водород атомларини материалга диффузия қилиши натижасида металл қотишмаларни тўлиқ пластиклигини йўқотиши ёки уни пасайиши.	The ratio of the magnitude of an applied shear stress to the velocity gradient that it produces—that is, a measure of a noncrystalline material's resistance to permanent deformation.
<b>Деградация (деструкция)</b>	полимер материалларни емирилиш жараёнини ифодалайдиган термин.	Used to denote the deteriorative processes that occur with polymeric materials, including swelling, dissolution, and chain

		scission.
<b>Деформацион пухталаниш</b>	рекристалланиш хароратидан паст хароратда пластик деформациялаш натijasида юмшоқ материалларни мустахкамлиги ва бикрлигини ошириш	The quantity of mass diffusing through and perpendicular to a unit cross- sectional area of material per unit time.
<b>Диполь (электрик)</b>	бир биридан катта бўлмаган оралиқда жойлашган, қарама қарши знакли тенг электр зарядлар жуфтлиги.	A pair of equal and opposite electrical charges separated by a small distance.
<b>Дислокация</b>	атомларни тартибли жойлашиши бўлмаган кристаллдаги чизикли нуқсон. Пластик деформация бу дислокацияларни таъсир этувчи кучланишлар натijasида силжиши. Дислокациялар чеккали, винтсимон ва аралашма бўлиши мумкин.	A linear crystalline defect around which there is atomic misalignment. Plastic deformation corresponds to the motion of dislocations in response to an applied shear stress. Edge, screw, and mixed dislocations are possible.
<b>Дифракция (рентген нурлари)</b>	кристалл атомларини рентген нурлари оқимини интерференцияси	Constructive interference of x-ray beams scattered by atoms of a crystal.
<b>Диэлектрик</b>	электризацияловчи материаллар гуруҳига тегишли ҳар қандай модда.	Any material that is electrically insulating.
<b>Допишлаш</b>	бу ярим ўтказгичларга чегараланган микдорда мақсадли равишда донор ва акцепторли легирловчи қўшимчаларни киритиш.	The quantity of mass diffusing through and perpendicular to a unit cross- sectional area of material per unit time.
<b>Атом рақами (Z)</b>	кимёвий элементнинг атом ядросидаги протонлар сони.	For a chemical element, the number of protons within the atomic nucleus

<b>Биполяр транзистор</b>	электр сигналларни кучайтирадиган п-р-п ёки	For semiconductors and insulators, the energies that lie between the valence and conduction bands; for intrinsic materials, electrons are forbidden to have energies within this range.
<b>Бронза</b>	таркибини асосан мис ва қалай ташкил этган қотишма; бронзалар таркибида алюминий кремний, никель ва ҳ.к. бўлиши мумкин.	A copper-rich copper–tin alloy; aluminum, silicon, and nickel bronzes are also possible.
<b>Вакансия</b>	одатда кристалл панжарадан атом ёки ион чиқиб кетган жой.	A normally occupied lattice site from which an atom or ion is missing.
<b>Валентли электронлар</b>	атомлар аро боғланишларни ҳосил қилишда иштирок этадиган юқори энергияли электронлар	The electrons in the outermost occupied electron shell, which participate in interatomic bonding
<b>Вандерваальс боғланишлар</b>	қўшни диполлар орасида молекулалар аро доимий ёки ҳосил қилинадиган иккиламчи боғланишлар.	A secondary interatomic bond between adjacent molecular dipoles that may be permanent or induced.

## **VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ**

### **Махсус адабиётлар:**

1. Fuel Economy in Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines. John C. Hillard, George S. Springer. New York and London, Plenum Press, 2001.
2. Guzzella Lino | Onder Christopher. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems. Springer, 2013. ISBN: 978-3-642-10774-0
3. Hua Zhao. Advanced direct injection combustion engine technologies and development. Volume 1: Gasoline and gas engines. USA. Woodhead Publishing Limited, 2010.
4. Hua Zhao. Advanced direct injection combustion engine technologies and development. Volume 2: Diesel engines. USA. Woodhead Publishing Limited, 2010.
5. Maximino Manzanera. Alternative Fuel. Croatia. InTech, 2011.
6. The Renewable Energy Home Handbook: Insulation & energy saving, Living off-grid, Bio-mass heating, Wind turbines, Solar electric PV generation, Solar water heating, Heat pumps, & more. Lindsay Porter. 2015, Veloce Publishing
7. Richard Folkson, Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. Woodhead Publishing Limited, 2015.
8. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств. – Ташкент: Chinor ENK, 2012. – 216 с.
9. Базаров Б.И., Калауов С.А., Васидов А.Х. Альтернативные моторные топлива. – Ташкент: SHAMS ASA, 2014. – 189 с.

### **Интернет ресурслари:**

1. <http://www.ziyonet.uz>
2. <http://www.edu.uz>
3. <http://www.infocom.uz>
4. <http://www.press-uz.info>
5. <http://www.fueleconomy.gov>