

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра Инженерной физики

Ниятхан Достан Еркінұлы

Механохимиялық әдіспен алынған нитридті жабындардың құрылысы мен қасиеттері.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М05301 Прикладная и инженерная физика

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт металлургии и промышленной инженерии

УДК 66.10.167

На правах рукописи

Ниятхан Достан Еркінұлы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Механохимиялық әдіспен алынған нитридті
жабындардың құрылысы мен қасиеттері.

Направление подготовки 7M05301 – «Прикладная и инженерная
физика»

Научный
руководитель
PhD, сениор-лектор
кафедрой «ИФ»
_____Лесбаев А. Б.
«___»_____2021г.

Рецензент
PhD
_____А. Ш. Рустамович
«___»_____2021г.

Нормоконтроль
Магистр естественных наук,
тьютор
_____А.У. Толенова
«___»_____2021г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ИФ
_____Р.Е.Бейсенов
«11 »06 2021г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра Инженерной физики

7M05301 – Прикладная и инженерная физика

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИФ
Д-р философии (PhD)
_____ Р.Е.Бейсенов
«_____» _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Ниятхан Достан Еркінұлы

Тема: Строение и свойства нитридных покрытий, полученных механохимическим методом

Утверждена приказом руководителя по университету №435–М от «03» декабря 2019г.

Срок сдачи законченного проекта «11» июня 2021 г.

Исходные данные к диссертационной работе: Титана нитридни порошок и ШХ15 шарики, ВТ1 титан.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Выполнить обзор литературных источников по методам механохимии;

б) Исследование свойств механико-трибологического и структурно-фазового состояния слоя титанового нитридного покрытия на поверхности технического титанового покрытия;

в) Исследование влияния механической обработки (использование шарикового удара) на физические свойства технического титана;

Рекомендуемая основная литература:

1. В.В. Болдырев. Механохимия и механическая активация твердых веществ. // Успехи химии 2006, №75 (3). С. 203–211.

2. Е.Г. Аввакумов Механические методы активации химических процессов. 2–е изд., Новосибирск: Наука, 1986, 297 с.

3. Л.Ю. Пустов. Автореф. канд. дис.: Особенности структуры и фазовых превращений в сплавах Fe–Mn и Fe–Ni, приготовленных механосплавлением. Москва 2004 г.
4. . Е.В. Шелехов, Т.А. Свиридова. Компьютерное моделирование процесса механохимического сплавления в шаровых мельницах. Кинетика движения мелющих тел и расчет температуры мелющей среды (в двух номерах). // *Металловедение*. 2008. №2. С. 10–22 и // *Металловедение*. 2008 №3. С. 11-24.
5. А.с. №61195 Республики Казахстан. Механохимический способ получения монолитных, композиционных и градиентных покрытий при помощи энергии ударов шаров. / Ж.Б. Сагдолдина (Республика Казахстан) №215907; Заявлено 17.09.2007; Опубл. 14.08.2009, бюл. №8 // *Инновационный патент*. 2009 №8.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Анализ имеющейся литературы по теме исследования	01.10.2020-01.01.2021	
Свойства покрытий, полученных нитридным составом	01.01.2021-01.03.2021	
Ход фазового вращения при механическом процессе	01.03.2021-01.06.2021	
Технологический режим нитридных покрытий, полученных механохимическим методом	01.06.2021-01.08.2021	
Результаты исследования и их обсуждение	01.08.2021-01.11.2021	

Подписи

консультантов и нормоконтролёра на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Магистр естественных наук, тьютор А.У.Толенова		

Научный руководитель _____ Лесбаев А. Б.

Задание принял к исполнению магистрант _____ Ниятхан Д. Е.

Дата _____ « » _____ 20 г.

АҢДАТПА

Титанды өнеркәсіпте кеңінен қолдануға байланысты, титан өндірісінің қымбаттылығына байланысты шектеледі. Себебі титан өндірісінің шығындарын азайту оған арзан легірлеуші элементтерді қосу арқылы немесе өңдеудің басқа балама әдістерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Титанның қымбаттық құны негізгі екі факторға тәуелді, олар: илемділігін азайтуға негіз болатын оттегі және азот және көмертегіге мөлшері жоғары химиялық бейімділігі және төмен серпімділік модулімен төмен жылу өткізгіштігіне байланысты нашар өңделуі болып табылады.

Сол себепті қазіргі уақытта арзан титан қорытпаларын алу үшін таза титанға болат қосу және ұнтақты металлургия қорытпаларын өңдеу әдістері қарастырылуда. Титанның құнын төмендетудің мүмкін әдістерінің бірі жабын бетін өзгерту. Осыған байланысты, көптеген жағдайларда мәселені шешу үшін қорғаныс және ұнтақты жабындарды қолдануды қарастыруға болады. Дегенмен барлық көлемдегі өнімдерде қымбат және тапшы құрылымдық материалдарды пайдалану іс жүзінде мүмкін емес, ал кейбір жағдайларда тіпті тиімсіз болып табылады.

АННОТАЦИЯ

В связи с широким применением титана в промышленности, ограничивается дороговизной производства титана. Потому что снижение затрат на производство титана может быть достигнуто путем добавления в него более дешевых легирующих элементов или с помощью других альтернативных методов обработки. Удельная стоимость титана зависит от двух основных факторов: кислорода и азота, которые являются основой для снижения, и низкой переработки из-за высокой химической склонности к окислению и низкой теплопроводности с низким модулем упругости.

Поэтому в настоящее время рассматриваются способы добавления стали в чистый титан и обработки сплавов порошковой металлургии для получения дешевых титановых сплавов. Одним из возможных способов снижения стоимости титана является изменение поверхности покрытия. В связи с этим во многих случаях для решения проблемы можно рассматривать использование защитных и порошковых покрытий. Однако в изделиях всех размеров использование дорогостоящих и дефицитных конструкционных материалов нецелесообразно, а в некоторых случаях даже неэффективно.

ABSTRACT

Due to the widespread use of titanium in industry, it is limited due to the high cost of titanium production. Because reducing the cost of titanium production can be achieved by adding cheap alloying elements to it or using other alternative processing methods. The cost of titanium depends on two main factors: oxygen and nitrogen, which are the basis for reducing its rolling capacity, and poor processing due to its high chemical adaptability to carbon and low thermal conductivity with a modulus of elasticity.

For this reason, methods for adding steel to pure titanium and processing Powder Metallurgical alloys are currently being considered to produce cheap titanium alloys. One of the possible ways to reduce the cost of titanium is to change the coating surface. In this regard, in many cases, the use of protective and powder coatings can be considered to solve the problem. However, in products of all sizes, the use of expensive and scarce structural materials is impractical, and in some cases even unprofitable.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ.....	10
1 МҚ ӘДІСІМЕН МҮМКІНШІЛІКТЕРІ	13
1.1 МҚ әдісінің мүмкіншеліктері мен физикалық негізі	13
1.2 МҚ әдісі арқылы металл бетінде жабын алуға қолдану ерекшеліктері.....	19
1.3 Нитрид құрлымы арқылы алынған жабындардың қасиеттері.....	24
1.4 Механикалық процес кезіндегі фазалық айналу барысы	26
1.5 Жұмыстың барысы.....	28
2 ТӘЖІРИБЕЛІК ҚҰРАЛ– ЖАБДЫҚТАР, ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР	29
2.1 Зерттеу үлгісін дайындау әдісі	29
2.2 Діріл тудырғыш диірмен ИВ20 құрылғысы.....	30
2.3 МВК 100–2R2GT4 INVT жиілік түрлендіргіші 2,2 кВт.....	34
2.4 Рентгендік дифрактометр құрылғысына талдау.....	35
2.5 Электронды микроскопия.....	38
2.6 ПМТЗ микромерімен физика–механикалық сынаулар.....	40
2.7 Профилометрия 130	43
2.8 Үлгіні коррозиялық сынау	46
3 ТӘЖІРИБЕНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІ	49
3.1 Механохимиялық әдіспен алынған нитридті жабындардың технологиялық режимі.....	49
3.2 Нитридті жабындардың фазалық құрамы мен микроқұрылымын зерттеу	50
3.3 Жабындардың механика–трибологиялық қасиеттерін талдау	52
ҚОРТЫНДЫ.....	56
ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	58

КІРІСПЕ

Жұмысқа жалпы сипаттама. Дипломдық жоба механикалық балқыту әдісі арқылы TiN синтезделген титан жабынының түзілуіне арналған. Жұмыста TiN негізіндегі жабынның трибологиялық және механикалық қасиеттері мен құрлымы зерттеді.

Жобаның өзектілігі. Титанды өнеркәсіпте кеңінен қолдануға байланысты, титан өндірісінің қымбаттылығына байланысты шектеледі. Себебі титан өндірісінің шығындарын азайту оған арзан легірлеуші элементтерді қосу арқылы немесе өңдеудің басқа балама әдістерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Титанның қыбаттық құны негізгі екі факторға тәуелді, олар: илемділігін азайтуға негіз болатын оттегі және азот және көмертегіге мөлшері жоғары химиялық бейімділігі және төмен серпімділік модулімен төмен жылу өткізгіштігіне байланысты нашар өңделуі болып табылады.

Сол себепті қазіргі уақытта арзан титан қорытпаларын алу үшін таза титанға болат қосу және ұнтақты металлургия қорытпаларын өңдеу әдістері қарастырылуда. Титанның құнын төмендетудің мүмкін әдістерінің бірі жабын бетін өзгерту. Осыған байланысты, көптеген жағдайларда мәселені шешу үшін қорғаныс және ұнтақты жабындарды қолдануды қарастыруға болады. Дегенмен барлық көлемдегі өнімдерде қымбат және тапшы құрылымдық материалдарды пайдалану іс жүзінде мүмкін емес, ал кейбір жағдайларда тіпті тиімсіз болып табылады.

Соған қарамастан соңғы уақытта механикалық әсерді пайдалану процестері (механохимиялық синтез, механоактивация, механикалық қорытпалар) әртүрлі салаларда қолдануға байланысты терең зерттеулер жүргізілді. Себебі олар химиялық және физикалық бу фазасының жауын-шашыны, өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез, термиялық бұрқу сияқты металл беттерін жабудың заманауи әдістерімен салыстырғанда жаңа дәстүрлі емес, экологиялық таза және арзан технологиялардың пайда болуын қамтамасыз етеді. Қазіргі уақытта металдар мен қорытпалардың бетіне жабудың жаңа әдістерін жасау қажет.

Металл бетіне жабын алу үшін механикалық төсеу әдісін қолдану бетті өңдеудің жаңа бағыты болып табылады. Бұл әдістің идеясы металл бетіне жабын жасау үшін қозғалатын доптың әсер ету энергиясын пайдалану болып табылады. Процесс қатты күйде болғандықтан, қолданылатын ұнтақ пен негізгі металды біріктіру әдісі іс жүзінде шектеусіз, үлгінің бетін арнайы дайындауды қажет етпейді және энергия шығыны аз болады.

Механикалық қорытпалар әдісімен жабындарды алу саласындағы үлкен ғылыми жетістіктерге қарамастан, алынған эксперименттік мәліметтер металл жабындар мен жабын жүйелерінің тіркесіміне негізделген. Керамикалық және оксидті қосылыстар негізінде композициялық жабындарды алу үшін механикалық балқыту әдістерін қолдану сирек зерттеледі. Бұл жағдайда негізгі проблема механикалық қорытпалар үшін процестің физикалық - механикалық қасиеттерін ескере отырып, жабын мен жабынның деформациясының қажетті деңгейіне жету үшін белгілі техникалық параметрлердің ауқымын анықтау болып табылады. Отқа төзімді оксидтерге негізделген жабынның негізгі қиындықтары жоғары температураны қолдану қажеттілігі болып табылады, бірақ кейбір жағдайларда төмен балқу температурасы бар жабындар үшін жоғары температураны қолдануға болмайды.

Қазіргі уақытта механохимиялық өзара әрекеттесуді түсіндіретін көптеген модельдер бар, бірақ әлі күнге дейін функционалды материалдарды жасау кезінде эмпирикалық әдістер қолданылды, өйткені қолданыстағы модельдер эксперименттік нәтижелердің барлық жиынтығын түсіндіре алмайды. Механикалық ашыту процесі күрделі процесс болғандықтан, өңдеу процесінде реакциялық қоспаның дисперсиясы, фазалық құрамы, бұзылу құрылымы және механикалық қасиеттері үнемі өзгеріп отырады. Механикалық Ашыту процесінің жұмыс параметрлерінің саны өте үлкен (уақыт, доп мөлшері, доп массасының ұнтақ массасына қатынасы, температура, амплитудасы және діріл жиілігі). Механикалық балқыту жабдықтарының әртүрлілігі өңдеу режимдерінің әртүрлілігіне әкелді. Сондықтан механикалық балқыту процесінің негізгі заңдылығын анықтау үшін алынған өнімнің (ұнтақ немесе жабын қабаты бар жабын) күйін болжау қажет, шешілмеген мәселе болып қала береді.

Осылайша, дипломдық жобаның тақырыбы механикалық қорыту әдісімен үлгі бетіне жабын алу тәсілін зерттеуге бағытталған. МҚ әдісімен TiN негізіндегі жабын түзіу процесін зерттеу механикалық қорытпа барысын қарастырып, заңдылықтары туралы жаңа түсінік береді.

Жоба мақсаты – МҚ әдісі арқылы техникалық титан төсемінің бетіне TiN негізіндегі жабын қабатының түзілу құрлысын зерттеу.

Зерттеу міндеттері:

- МҚ әдісі арқылы техникалық титан төсемінің бетіне титана нитрид негізіндегі жабын қабатының жабу процессінің режимін анықтау;
- техникалық титан төсемінің бетіне титана нитрид жабын қабатының механикалық-трибологиялық және құрылымдық-фазалық жай-күйін қасиеттерін зерттеу;

– механикалық өңдеудің (шарлар соққысын пайдалану) техникалық титанның физикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу.

Зерттеу объектісі – қаптама алудың механикалық қорыту әдісі, техникалық титан қорытпасы, титана нитридi ұнтағы.

Зерттеу пәні – МҚ әдісімен титана нитрид жабындардың қалыптасу барысындағы ерекшеліктері, құрылымдық-фазалық күйі, трибологиялық пен микроқаттылығы.

Зерттеу әдістері. МҚ әдісімен синтезделген қаптаманы зерттеу үшін келесі зерттеу әдістері қолданылды: профилометрия арқылы беткі кедір бұдырлығы, сканерлік электронды микроскопия арқылы құрлымы, рентгенфазалық талдау арқылы құрамы, виккерс әдісі арқылы қаттылығы анықтау және қышқыл арқылы абразивті тозуға төзімділігі анықталды.

Ғылыми және практикалық маңыздылығы. Зерттеу нәтижелері титан нитридi TiN жабынын механикалық қорыту әдісі қолдану туралы терең түсінік береді. Алынған нәтижелерді материалдарды беттік өңдеу технологиясын пайдаланатын металлургиялық кәсіпорындарда қолдануға болады.

Автордың жеке қосқан үлесі. МҚ әдісімен жабын алу және эксперимент жүргізу, электронды микроскопиялықты анықтау, деректерді талдау және сараптау, рентгенқұрылымдық талдау жүргізу, үлгілрдің қаттылығы мен коррозияға төзімділігін анықтау, сондай-ақ нәтижелерді сараптап өңдеу бойынша жұмыстарды жүргізу. Жобаны жүргізу, алынған мәліметтерді талдау және негізгі деректерді тұжырымдау дипломдық жұмыстың жетекшісімен бірлесіп жұмыс жүргізілді.

1 МҚ ӘДІСІМЕН МҮМКІНШІЛІКТЕРІ

1.1 МҚ әдісінің мүмкіншеліктері мен физикалық негізі

Тарауда механикалық қорыту (МҚ) әдісінің аспектілері баяндалған және толықанды зерттеулерінің пікірталастар көрсетілген. Металл жүйелеріндегі МҚ жұмысының әртүрлі көзқарастар талданған. Металл бетінде қорғаныс қабаттарын алу үшін МҚ әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған.

Осы бөлімде қарастырылған мәселелердің шеңберін анықтау үшін өңдеу жұмыстарын сипаттау үшін қолданылатын терминдерге назар аудару керек: механикалық синтез, механикалық ұсақтау мен бөліну, механикалық активациясы зеріттелді. В. Освальд механохимиялық ғылымды энергетикалық жүйелейді, химияның кең ауқымын механикаландырылған ғылымда біріктіреді және механикалық күші мен химиялық энергия арасындағы байланысты қарастырады[1]. Химиялық әсерлер сұйықтықтар мен газдардың барлық көлемінде атоммен молекулалардың еркін соқтығысуының нәтижесі екені белгілі. Алайда, қатты денелерде қатты фазаның реакциясынан туындаған химиялық әсер бүкіл көлемге емес, қатты дененің байланыс бетіне әсер етеді. Яғни, қатты заттың химиялық әрекеттесуі энергия бойынша гетерогенді және белсенді орталықтың беткі шекарасында оқшауланған, жеделдетілген реакциямен[2]. "Механохимиялық синтез" және "механикалық қорытпа" терминдері эквивалентті. Алайда, механикалық қорытпа термині механикалық әсерден туындаған қатты фазаның ауысу процесін сипаттау үшін қолданылады. МҚ процесінде беттің механикалық белсенділігі (ұсақтау, деформация) және химиялық реакция (қатты фазалық реакцияға байланысты жаңа қосылыстардың пайда болуы) жүреді. Болдыревте В.В. [3] мақалада процестерді уақыт бойынша бөлу негізінде екі жағдай бөлінеді: бірінші жағдай, механикалық өзара әрекеттесу уақыты және оның релаксациясы химиялық реакция уақытынан көп болған кезде—бұл процесті механикалық деп атауға болады; екінші жағдай, керісінше, егер механикалық әсер ету уақыты химиялық реакция уақытынан аз болса, онда механикалық активация (активация) процесі туралы айтуға болады. Механикалық активтендіру заттың реактивтілігін арттыру үшін қолданылады. В.М. Кляровскийдің жұмысында [4] бірінші кезең бетінің нақты көлемін ұлғайтуды (нақты өзгергіштікті) қамтиды, осылайша ұнтақтау арқылы қол жеткізілетін беттік энергияны арттырады және бөлшектердің дисперсиясын арттырады. Екінші кезеңде бетінің белгілі бір ауданы тепе-теңдікте сақталады, қатты ұсақталған бөлшектердің агрегациясына байланысты көбеймейді немесе тіпті төмендемейді. Алайда, мұндай агрегаттардың байланыс күші бастапқы құрылымдағы валенттік және атомдық байланыстарға қарағанда әлдеқайда әлсіз болып табылады. Бұл

жағдайда механикалық активтендіру артық энергия, ақаулар немесе қатты денелердегі басқа өзгерістер түрінде жиналатын кристалды тәртіптің бұзылуымен бірге жүреді. Энергияның жинақталуы шексіз болмайды, сақталған энергия шашырайды және релаксация процесінде реакциялық жүйе тепе-теңдік күйіне еніп, механикалық қорытудың жаңа өнімін құрайды.

Осылайша, ұсақтау дененің максималды қабатын алу мақсатында жүргізіледі, ал қатты бұйымның реакциялық қабілетін күшейтіу үшін энергияны жинақтау барысында механикалық белсендіру процессін жүзеге асыруға болады. МҚ процессін жобалап айтқанда МХ өзара әрекеттесудің шекті көрінісі деп қарастыруға болады [5].

Механохимиялық объектілер мен олардың өз ара байланысы қасиеттерінің өзгеруін, сондай-ақ физикалық күш әсер ету кезіндегі, деформация, үйкеліс, соқтығыс кезіндегі қысу кезіндегі физика-химиялық өзгеруін зерттейтін химия бөлімі болып табылады. Термин алғаш рет он тоғызыншы ғасырдың аяғында Рига политехникалық оқу орнында профессоры Вильгельм Оствальд ұсынған "жалпы химия оқулығында" басылым тартқан. Жиырмамыншы ғасырдың басында орыс физико-химиялық қоғамының басылымында Флавиан Флавицкийдің бірінші жұмыстардың бірі Ресейде жарияланды [6].

Пластикалық деформация әдетте, қатты дененің құрлымын өзгеруіне ғана емес, сонымен қатар құрлымын бұзылуына әкеледі, бұл ақаулар химиялық және физикалық қасиеттерін, соның ішінде толықанды өзгеріске әкеп соғады. Ақаулардың жинақталуы химияда қатты заттың қатысуымен реакцияны жеделдету үшін, қатты фазадағы химиялық реакцияны күшейтудің және процестің температурасын төмендетудің басқа тәсілдері үшін қолданылады. Интерметалды қосылыстар мен ферриттерді полимерлерді бұзудың механохимиялық әдісімен синтездеу, аморфты қорытпаны, белсендірілген ұнтақ материалын алу.

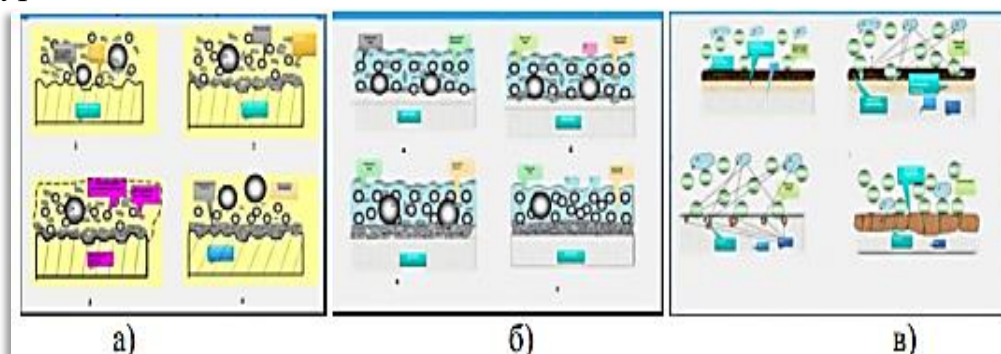
Механохимиялық жолмен қалыптасқан механизм, оның көмегімен металл бетінде қабаттар пайда болады, осыған сәйкес ол негізгі үш топқа бөлінеді:

Ең алғашқы топ жабын материалының бір-біріне әрекеттесіп металға еңбестен тікелей металл қабатында пайда болған формаларды біріктіреді және жабынды металмен байланыстыру механикалық адгезия негізінде жүреді.

Ал екінші топ шатыр материалдары мен металдардың құрылымдық өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болған бөлшектер, олардың арасындағы механохимиялық байланысты қамтамасыз етеді.

Үлгінің химиялық ерітіндімен химиялық әрекеттесуіне байланысты жабындардың үшінші тобы үшін бастапқы үлгі металдың өзі болып табылады.

Жабудың басқа әдістерінің ерекшелігі олардың пайда болуының діріл жағдайында жұмыс ортасында (металл, фарфор, сфералық шегінісі бар әйнек) еркін қозғалатын бөлшектердің өңделген бетіне механикалық әсері. Жұмыс ортасының бөлшектерінің беттің бір бөлігімен динамикалық байланысына байланысты жабынды қалыптастыру кезінде беткі қабатта болатын химиялық процестердің активтенуі, сондай-ақ беткі қабаттың геометриясы мен физикалық қасиеттерінің өзгеруі қамтамасыз етіледі. Оны келесі суреттен байқасақ болады.

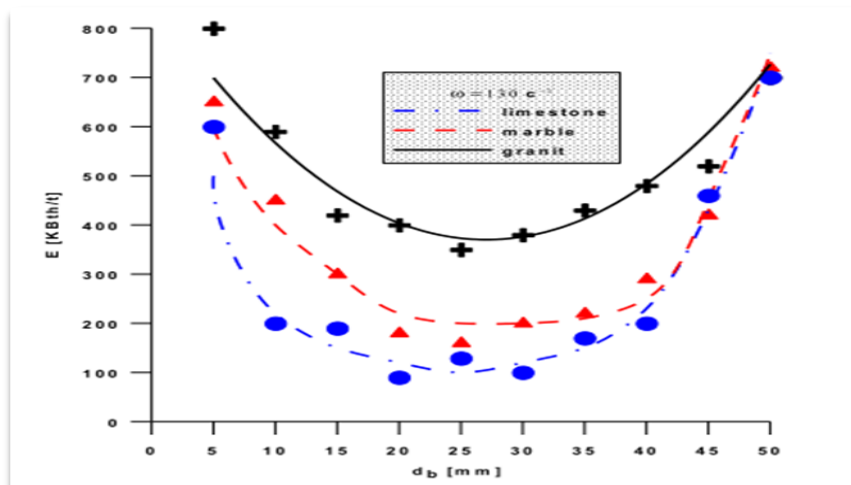


Сурет 1 – жабын жабудың негізгі түрлерін қалыптастыру моделдері: бірінші түрі (а), екінші түрі (б), үшінші түрі (в)

Суретте келтірілген жіктеуден бір жабын металл бетінің жабын материалымен ұнтақты жақындасуы нәтижесінде пайда болады, келесі химиялық реакциялар жағдайында және шекаралық қабаттары электростатикалық күшт болған жағдайларда пайда болады, дегенмен химиялық процестің күрделілігіне қарамастан, механикалық энергия әрқайсысының негізгі белсенді күші болады. Сыртқы күштің тербелмелі механикалық әсерінен жүйенің ішкі энергиясы артады, молекуланың тұрақты қозғалысының энергиясы жоғарлайды, молекула мен атомдар құрайтын атомдар тобының молекулааралық жиілігі қозғалысының энергиясы артады, атомдағы электрондардың қозғалыс энергиясы артады.

Химиялық реакцияларды механикалық күштердің әсерінен беткі қабаттың жергілікті микро түсірілімдер базасында қалыптасатын ұнтақтар жамылғыны құру мен өсудің алғашқы көзі болып табылады. Үшінші жұмыста термодинамикалық тұрғыдан беткі қабаттың жергілікті түсірілімдерінде өтетін механикалық процестің барлық қарапайым актілері кинетикалық заңдылықтармен ерекшеленетін екі топқа бөлінетіні көрсетілген. Негізгі актілердің бірінші тобы атомдық және молекулалық қайта құрастыруға байланысымен пайда болуына және сол арқылы құпия энергия бетінің жергілікті ауқымында жинақталуына себепші болады. Келесі топтың актілері байланыстарды жоюмен және орнату байланысты, нәтижесінде трансформация жүріп жылу әсері түрінде көрінеді. Қорытқанда термодинамиканың негізгі заңындағы энергияны сақтау заңына сәйкес оның

түрлендіреді, сол арқылы энергетикалық теңгерімінің теңдеуін жергілікті білім беру деңгейінде беттік қабаттың түзілуінің жазуға болады.

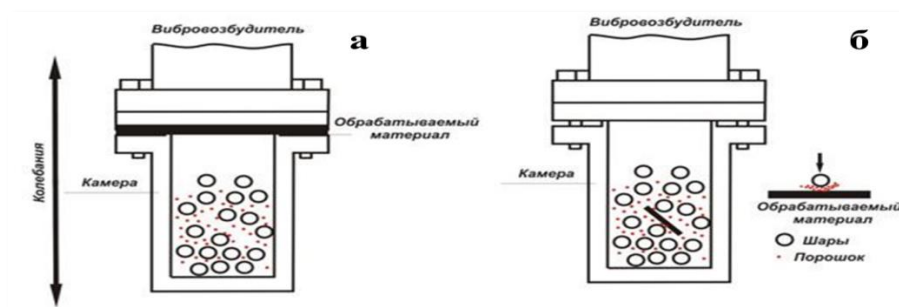


Сурет 2 – Мельницаның ішкі энергия сыйымдылығының шарларға диаметріне тәуелділігі көрсетілген.

Сызбанын сипаты үлгілердің әрбір түрі үшін, аз үлес жететін шардың диаметрінің мәні барлық энергия сыйымдылығы тәуелділігі көрсетілген. Мысалы диаметрі 5.5–14.5 мм шармен ұсақтау барысында соңғы емес берілген рет материал бөлшектерін ұсақтау үшін қажетті күші жеткілікті және керісінше, шарлар диаметрінің артыуына олардың санының төмендеуіне әкеліп соғады, бұл құрылғының өнімділігіне теріс әсер етеді, демек бұл, меншікті энергия сыйымдылығы екендігің жоғарыдағы суреттен байқасақ болады.

МҚ әдісінің негізі металл немесе керамикалық үлгілерді (диаметрі 4.5-тен 6,5 мм-ге дейін) берілген құрамдағы металлға ұнтақты механикалық құрылғымен берілген жиілік аумағында берілген құтыда орналастыру болып табылады, дегенмен энергия құтыға механикалық көлік камерасына түсетін діріл арқылы беріледі, жалпылама айтқанда өңделетін материалдың бетіне түседі.

Төсеніш дірілдеу құрылғысының үстіне бекітіледі, құты материалын өндеген жағдайда (3а суретте көрсетілген) немесе ұсақ ұнтақтарды өндеген кезде құтының ішіне орналастырылады (3б суретінде көрсетілген). Өңделетін беттің өлшемі құтының өлшеміне байланысты. Үлгі құты ішіне салынған жағдайда, діріл әсерінен үнемі қозғалады және жұмыс құтысының аймағында әртүрлі боғытта болады, бұл оның барлық жерінде біркелкі өндеуді қамтамасыз етеді. Әр түрлі бағыттағы соққылардың өңделетін үлгіге бір мезгілде әсері етіп оны тұрақты күйде ұстап тұруға ықпал етеді.



Сурет 3 – Механикалық қорытпа әдісінің схемалық бейнесі

Доптың әсерінен ұнтақ бөлшектері металл бетінен суық түрде дәнекерленген. Бөлшектер механикалық түрде жылтыратылған, бірнеше рет деформацияланған және бетіне тығыздалған. Ұшатын шардың тығыз энергиямен қамтамасыз етілуі химиялық реакцияны және қатты фазаның диффузиясын тездетеді, нәтижесінде металл матрицасының бөлшектерге қатты адгезиясы, қатты фазаның ауысуы және ұнтақтың бастапқы құрамына байланысты интерметалл қосылыстары пайда болады. Нәтижесінде бетінде нано - немесе микроқұрылымдық сипаттамалары өте жоғары адгезиясы бар композициялық материалдың жабыны немесе қабаты пайда болады.

Бүгінгі таңда механикалық қорытпа әдісімен қорғаныс металл жабындарын алу тәсілі бойынша инновациялық патенттер алынды [7]. Гальваностегия, физикалық және химиялық тұндыру сияқты жабындарды алудың белгілі тәсілдері пайдаланылатын үлгілердің түрлері бойынша бірқатар шектеулерде бар, бұл негізінен қаптама материалдары мен матрицалардың үйлесімсіздігіне байланысты. Мысалы, жұмсару температурасы төмен материалдың бетіне баяу балқитын жабынды жағу өте қиын болып табылады. Қосымша ретінде бөлшектердің алынған мөлшері бар силицид, карбид, оксидті немесе нитридті фазалармен олардың арақашықтығы бойынша таралуы қолданатын композициялық–градиентті жабындарды жағу қиын. Дегенмен, физикалық немесе химиялық әдістермен алған қабаттарды көп жағдайда жабынның бетіне әлсіз адгезияға ие болады. Қалың жабындарды физикалық немесе химиялық әдіспен алу үшін көп уақыт тұндыру қажет. Өзге кемшіліктер отырғызу алдында қабыршағын алдын ала өңдеу қажеттілігіне байланысты, бұл жеткілікті қабыршақтан тұратын және энергия мөлшерің көп қажет ететін лазерлік немесе вакуумдық жабдықтарды қолдану талап етеді.

Қорытпалар және үлгі бетінде әртүрлі қабаттарды алу үшін механикалық қорытпа әдісін пайдалану басқа әдісімен салыстырғанда бірқатар өзгешеліктер бар. Қолданылған тәсілдің артықшылықтарына бұрын белгілі тәсілдермен салыстырғанда ең бірінші жағу тісілінің оңайлатылуын, сондай-ақ қабат материалдары мен төсеніштерді алу кезінде шектеулердің болмауын айтуға болады. Механикалық жабын жабу әдіс жабу алдында бетті арнайы еңбекті керегі жоқтығын, дайындауды талап етпейді. Механикалық

процесінде ұнтақты құрамының өзгеруі арқылы монокристалл немесе керамикалық қабатты, сондай-ақ оксидті, нитридті, карбидтерді, силицидтен тұратын металл композициялық градиентті қабатты қалыптастыруға болады [8, 428].

Демек механикалық қорытпа әдісі металл қабатына не керамикалық немесе композицияның жабындарды алудың қарапайым және экономикалық жағынан тиімді әдіс болып табылады. Айтылған тәсіл бойынша алынған композициялық қабаттарды бөлшектерді нығайту, коррозиялық беріктілігі мен тозуға төзімділігін арттыру есебінен өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылуына мүмкіндік береді.

Белгілі болғандай, механикалық қорытпа кезінде ластану деңгейі шарлардың орын ауыстыру энергиясының қарқындылығына байланысты. Құрылымының энергия қауырттылығы көбею кезде болат шарлар мен құты қабырғалары есебінен үлгі бетінің темірмен тозандану ескеру қажет. Темірмен ластану өте жоғары болғандықтан, механикалық энергияны үлгімен өңделетін материалға апару қарқындылығы неғұрлым жоғары.

Қазіргі заманғы технологияларды дамыту, машиналар мен құрылғыларды жасау нарықтық экономика жағдайында бәсекеге белсенді өнімнің сапасын, жоғары пайдалану құрылғы мен өнімділігін қамтамасыз етіп неғұрлым ынғайлы жаңа технологиялық процестерді әзірлеуді талап ететіндігі сөзсіз. Осы мәселелерді шешудің бірден бір бағыттарының бірі беткі жабын өңдеу және пайдалану әдістерін жетілдіру. Осы жұмыста титана нитридті қосылыстарының негізгі құрлымын негізделген қабатқа пайдалану сипаттамалары қарастырылады. Жобаның өзектілігі арзан легірлеуші элементтерді пайдаланады болып табылады.

Аяқтаудың ең тиімді және танымал әдістерінде әр түрлі спектрлік тербелісі бар әртүрлі техникалық орталарды қолдана отырып жүзеге асырылатын және механикалық күші мен химиялық процестерді тербелмелі өңдеу кезінде өңделетін бөлшектердің сапалық сипаттамаларының өзгеруінің жоғары өнімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін бөліктің тербелмелі өңделуі ерекшеленеді. материалдық, еңбек және энергия ресурстарын айтарлықтай үнемдеу.

Жабындарды алу саласындағы шетелдік және отандық тәжірибені зеріттеу мен талдау әзірлемелердің көпшілігі үлгі жабындарды орнатуға немесе бұйымға гальваникалық тәсілмен арналғанын көрсетті. Соңғы уақытта механикалық әдіспен белсендірілетін химиялық не физикалық процестер машина жасаудың сан алуан салаларында оларды қолдану өсіміндегі себебінен қарқынды зерттеулердің айқындылығына айналды, өйткені дәстүрлі емес экологиялық таптаза және қолданыстағылармен қарастырғанда шығынсыз технологиялар жасауды талап етеді. Осы жұмыстардың барлығы дірілдеткіш механикалық химиялық қабаттарды қалыптастыру кезінде өтетін механохимиялық әдістерді негіздеу және

өнімділік сапасын арттыру, қаптаманың өзге түрің, коррозиялық төзімділік күшейту, антифрикциялық қасиеттер және т. б. қабаттарды алудың ұсынылып отырған тәсілінің артықшылықтарын бағалаудың сандық және сапалық көрсеткіштерін алу үшін бастапқы алғышарты болып табылады. Бұл осы мәселелерді шешу барысының тиімді техникалық және экономикалық көрсеткіштері барысын беткі қабаттың талап етілетін сапалы параметрлерің қасиеттерін қамтамасыз ететін қаптама салудың оңтайлы жолын таңдауға бағытталған арнайы міндет болып табылады.

1.2 МҚ әдісі арқылы металл бетінде жабын алуіне қолдану ерекшеліктері

Заманға лайықты нарықтық экономика жағдайында бәсекеге қабілетті болу үшін машиналар мен агрегаттарды жасау сапасын, жоғары пайдалану сипаттамаларын және өнімді көрсетуді қамтамасыз ететін қазіргі заманғы технологияларды, жаңа және неғұрлым тиімді техникалық процестерді дамыту. Бұл мәселелерді шешудің негізгі бағыттарының бірі-беттерді әрлеу және өңдеу әдістерін жетілдіру. Қаптау-ең тиімді және әмбебап әдістердің бірі. Бөлшектің бетін дірілмен өңдеу беткі қабатты механикалық энергиямен және химиялық процестің бөлшектерімен нығайтуға мүмкіндік береді, бұл әртүрлі техникалық ортаны қолдана отырып, дірілмен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді [10]. Тербелісті өңдеу сипаттамалардың өзгеруін қамтамасыз етеді. Өңделетін бөлшектердің жоғары сапалы беті материалдарды, Еңбек және энергия ресурстарын айтарлықтай үнемдеуді қамтамасыз етеді. Үйде және шетелде қаптау тәжірибесін талдау көрсеткендей, көптеген әзірлемелер металл жабындарды қолдануға арналған немесе гальваника арқылы алынған. Жақында химиялық процестер оң механикалық әсерге ие болды. Оларды әртүрлі салаларда қолдануды күшейту машина жасауға байланысты өте маңызды,өйткені ол жаңа дәстүрлі емес экологиялық және бұзылмайтын технологияларды қолдануды қамтамасыз етеді.

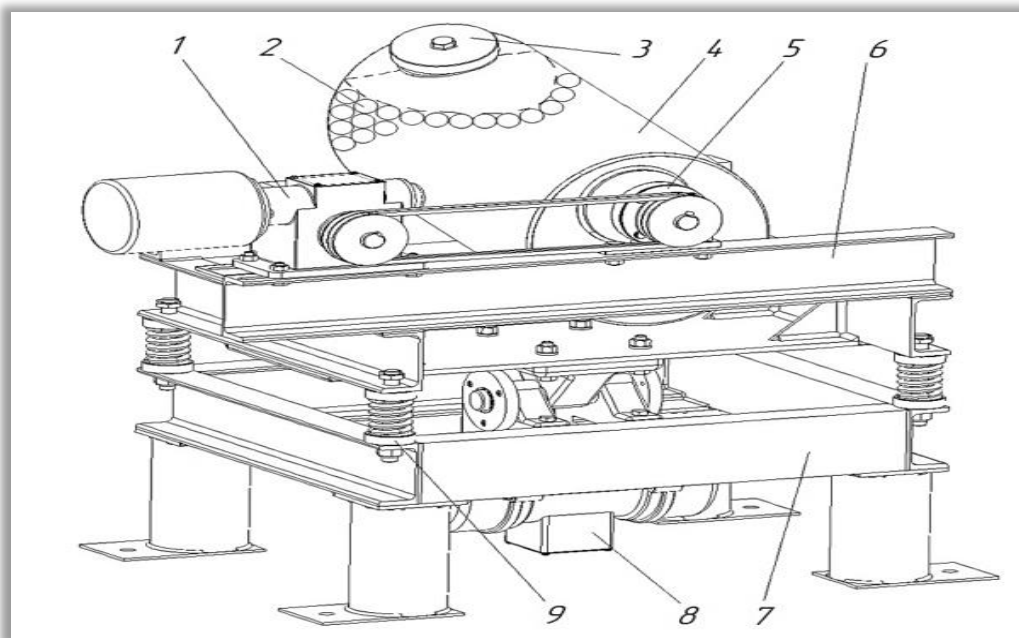
Осы жұмыстардың барлығы механикалық химияның негіздеу үшін арнайы алғышарты болып табылады. Дірілді физикахимиялық процестерді қалыптастыру барысында өтетін және бағалаудың сандық көрсеткіштерін даярлау. Ұсынылатын жұмыстарды алу тәсілінің артықшылықтары өнімділігі, сыртқы түрі қабаттарды, тозыуға төзімділігін анықтау. Сондықтан осы мәселелерді шешу, бүгінгі күні өзекті міндет болып табылады.

Беткі қабатты жағудың тиімді технологиясын таңдауға арналған, талап етілетін сапа параметрлері мен пайдалану қасиеттерін қолданысқа ықпал ететін тиімді техникалық және экономикалық көрсеткіштері кезіндегі беттік жабын жобасымен тығыз байланысты.

Ұсынылған ұсақтағыш конструкциясына тоқтала кететін болсақ. Ұсақтау сапасы мен өнімділігі арттыру барысын шешу үшін дірілді ұнтақтау және талқыланған талдауға сәйкес ұнтақтау үшін вибрациялық құрылғыларды қолданыстағы жобалауға материалдарды дірілдеу құрылғысын жаңа жобасы ұсынылды, қозғалыс бағдары жүзеге асырылған.

Құрылғы құрылымы пайдалы модельге РФ патентімен қорғалған №105199 21.12.2011 ж. [11]. Қойылған техникалық тапсырманы дірілді құрылғыда, ұсақтайтын бөлшектерді бар ұнтақтау камерасы орнатылған айналу мүмкіндігі бар қозғалмалы рамадағы валды тіректерде өз осі орналасқан. Ұсақтау камерасы көлбеу цилиндр жобасында және жылжымалы раманың көлденең бетіне тур пропорцанал 90 градус бұрышпен орнатылған, қозғалмайтын беттегі дірілдің пайда болуын қамтамасыз етілген.

Ұсақтау камерасы жетектің көмегімен біліктің айналасында айналатын еркін мойынтірекке орнатылады. Көлденең цилиндрдің көлденең бетінің көлбеу бұрышы ұсақ денелер мен ұсақталған материалдар қоспасының белсенді жақтауының беткейінің көлбеу бұрышынан үлкен немесе оған тең болуы керек, бірақ эксперименталды түрде анықталған 45° - тан аспауы керек. Егер көлбеу бұрышы 45° немесе одан жоғары болса, қосымша қуат жоғалуы мүмкін. Шығару камерасының бағанында динамикалық жүктеме бар. Шығару камерасының тербелмелі және айналмалы қозғалысы шағын механизмге берілетін энергияны арттырады, бұл олардың қозғалысын едәуір баяулатады және диірменнің жұмысын жақсартады. Осылайша, діріл диірменінің көлбеу ұнтақтау камерасы ұсақ және өте ұсақ материалдарды ұнтақтау үшін ұсақтау әдісінің әртүрлі жағдайларының синергиясын жасайды.

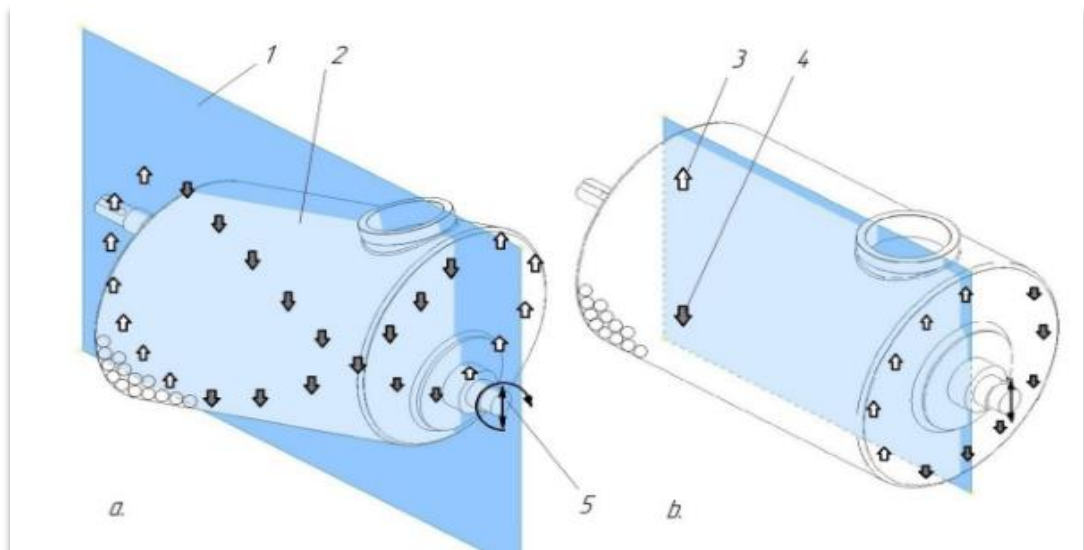


Сурет 4 – Дірілді пайда болдырғыш диірменнің жалпы түрі (1–жетек валы; 2 – үлгі не ұнтақ денелері; 3 – тиеу есігі; 4–тарту барабаны; 5 – басты

тірегі; 6 – қозғалмалы рама; 7 – қозғалыссыз рама; 8 – діріл түрлендіргіш; 9 – серіппелер).

Құрылымы (сурет 4) 5 көлденең осьтің айналасында 6 жылжымалы рамасы айналмалы, 4 подшипник тірегіне орнатылған, 2 тегістеу камерасын және 1 тарту камерасын айналдырады. 4-камераның өзектері түрінде жасалған тік жазықтық оның бүйір бұрыштарында 6 цилиндрлік рельстермен орнатылған көлбеу цилиндрлік жылжымалы раманың осіне перпендикуляр көлденең жазықтық. 3 тарту камерасында тиеу люгі бар. Камера 1 осі арқылы жетектің айналасында айналады. Сондай-ақ, 6 жылжымалы жақтауына 8 діріл жетегі бекітілген. Жылжымалы жақтауда 6 жылжымалы жақтау 7 серпімді элемент арқылы 9 бекітілген жақтауға сүйенеді.

Диірмен келесідей жұмыс істейді 4 жүктеу люкімен бор денесі 2 ұсақтау камерасына орналастырылады. Люкті тиегеннен кейін шикізат дірілдің әсерінен ұсақтау камерасына орналастырылады 4. 3 Тиеу люктерінде тор және қақпақ орнатылған. 8 діріл жетегі құм камерасының бағытталған дірілін тік бағытта жүзеге асырады, сонымен бірге 1 жетек камерасын айналдырады. 2 механизмі ұсақталған материалға соққы және үйкеліс әсерін тигізеді, материал 4 ұсақтау камерасы арқылы үздіксіз араластырылады, себебі ұсақтау механизмі генератордың иілу траекториясы бойынша ұсақталады. Жұмыс барысын 3-суретте байқауға болады.



5-сурет ұсақтау камерасындағы бор денесінің негізгі қозғалыс сызбасы (а-көлбеу; б-шартты; 1-тік симметрия жазықтығы; 2-дене; 3-бор денесінің жоғары қозғалысы; 4-бор денесінің төмен қозғалысы).

Осылайша қорытынды жазсақ. Діріл диірменінің заманауи дизайнын ескере отырып, дірілді ұсақтаудың жаңа дизайнының прототипі болған зерттеудің өзектілігі көрсетілген.

Дірілді ұсақтауды жетілдірудің негізгі бағыты қарастырылды және сипатталды, олардың бірі осы жұмыста қарастырылған бағыт болып табылады.

Қазіргі есептеу әдістері қарастырылып, негізгі ғылыми параметрлерді есептеудің жаңа әдістері жасалды.

Талдау негізінде ғылыми идеялар тұжырымдалады, болашақ зерттеулердің мақсаттары мен міндеттері тұжырымдалады.

Қазіргі уақытта механохимиялық өзара әрекеттесудің ондаған модельдері бар, бірақ осы уақытқа дейін функционалды материалдарды жасау кезінде эмпирикалық әдістер қолданылды, өйткені қолданыстағы модельдер эксперименттік нәтижелердің барлық жиынтығын түсіндіре алмады [12]. Бұл дисперсияға, фазалық құрамға, ақаулардың құрылымына әсер етеді.

Сонымен қатар, өңдеу кезінде қолданылатын көптеген машиналар заттарды ұсақтауға арналған. Өңдеу үшін құрылғының үлкен энергетикалық кернеуін жасау керек, яғни жұмыс сұйықтығының жұмысы кезінде энергияның көп мөлшерін беру кезінде ақаулар түрінде өңделетін материалдың қатты фазасының реакциясы әсіресе сезімтал. Механикалық өңдеудің көптеген жабдықтары бар: диірмен түріндегі жабдық, діріл механикалық активаторы, шар диірмені, планетарлық механикалық активатор. Қолданылатын механикалық активатордың түрі доптың қозғалыс сипатын және үлгінің қатты фазалық реакциясының сипатын анықтайды [13]. Жабдық түріндегі айырмашылықтар мүмкін өңдеу режимдерінің әртүрлілігіне әкеледі. Өңдеу кезінде, жоғарыда айтылғандай, максималды байланысқа қол жеткізу және реакцияның соңғы өнімін қалыптастыру үшін ұсақтау, араластыру және өзара диффузияны қамтамасыз ету үшін байланыс жағдайларын жасау қажет. Бұл жұмыстың авторлары [14] механоактивациямен бірге басқа МҚ әдістері бөлінетін немесе қатты фазалық синтез үшін қолданылатын құрылғыны құруды ұсынады, мысалы, компоненттерді сол гельді тұндырумен араластыру және т. б.

Технологиялық жабдықтың энергия сыйымдылығының жоғарылауымен қосымша міндет туындайды-өңделген заттардың ластану көзін (қоршаған ортаның, ұсақ денелердің және тозған өнімдермен діріл камераларының ластануы) бақылау қажеттілігі, өйткені ластану қарқындылығы неғұрлым көп болса, МҚ-дағы ластану деңгейі беріктікке, ұнтақтың табиғатына, шарлардың ұнтаққа салмақ қатынасына, камераның тығыздау дәрежесіне және т.б. байланысты болады. Титан сияқты белсенді металдарды қолданған кезде нашар ауа өткізбейтін камераларда тегістеу қатты ластануға және нитридтер мен оксидтердің пайда болуына әкелуі мүмкін. Мысалы, ұнтақ пен РВ механикалық допинг процесінде жұмыс кезінде оксидті қосылыстардың түзілуі анықталады [16]. Көміртекті бақылау әсіресе қорытпаларды алу үшін ұнтақтарды синтездеу кезінде қажет

[15] жұмысында механикалық активтендіру кезінде таза элементар ұнтақтың темірмен ластануы зерттелді. Өңделген үлгіде легирленген темір өңделетін элементтің торында еруі немесе темірдің белгілі бір элементпен өзара әрекеттесу сипатына байланысты олармен интерметалды қосылыс түзуі мүмкін екендігі расталды. Белгілі болғандай, ластану деңгейі ӨД байланысты қарқындылығы энергия соққы доп. [17] жұмыс барысында МҚ ластану деңгейін төмендетудің бірнеше әдістері ұсынылған: жоғары таза металдарды пайдалану; жоғары таза атмосфераны пайдалану; сфералық материалдар мен өңделген заттардан ұнтақтау камераларын пайдалану; өзін-өзі өлшеу әдісі; ластануды бақылау мақсатында төмендету, вольфрам карбиді, цирконий сияқты қатты материалдардан жасалған кішкентай денелерді пайдалану [18]. Fe және Si ұнтақ қоспаларын сынау нәтижелеріне абразивті тозудың әсері жұмыс барысында зерттелді [19].

Осы проблемалардың барлығына қарамастан МҚ әдістерінің басты артықшылықтары – экологиялық тазалық, қатты ерітінділерді, аморфты және метастабильді қорытпаларды, әртүрлі металл жүйелердегі интерметаллдық қосылыстарды алу үшін қарапайымдылық және әмбебаптылық. Ең перспективалы әдіс-дәстүрлі металлургиялық әдістерді қолдану қиын болған жағдайда интерметалл қосылыстарын синтездеу. [20,21] жұмысында жүйелерде интерметалдық қосылыстардың пайда болуы көрсетілген, мұнда көптеген мысалдарда балқу температурасы мен бастапқы компоненттердің тығыздығында үлкен айырмашылық бар. Концентрацияның кең шекарасы бар қатты ерітіндінің теориялық болуы Өлшем факторымен анықталады. Әдеби деректер көрсеткендей, MD-де шоғырланудың айтарлықтай ауытқуына қол жеткізу үшін өлшеу факторы 15-28% өтеледі. Егер еріген элементтің атомдық диаметрі еріткіштің атомдық диаметрінен 14-15% үлкен болса, онда бұл өлшем факторы қолайсыз және қатты ерітіндінің қызмет ету мерзімі шектеулі.

Соңғы бірнеше жылда белгілі көп компонентті қорытпалармен салыстырғанда температурасы жоғары және коррозияға төзімді көп компонентті ыстыққа төзімді қорытпалар өндірісі, төмен температуралы сырғытпалар өндірісі өзекті болды. Құрамында 5 немесе одан да көп ($\Delta S_{\text{смеш.}} > 11 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$), элементтен тұратын қорытпалар жоғары энтропиялық болып табылады, бұл ретте бір элементтің ең жоғары концентрациясы 35% – дан аспауы тиіс. Қатты күйдегі араластырудың салыстырмалы түрде жоғары энтропиясының сақталуын қамтамасыз ететін техникалық фактор балқыманың жоғары салқындату жылдамдығы болып табылады, бұл қатты ерітіндінің ыдырауына әкелетін диффузиялық процестерді дамытуға мүмкіндік бермейді. Құйма жоғары энергиялы қорытпалар балқыманы 800-1000 ° с жылдамдықпен салқындату арқылы алынады, алайда құраушы элементтердің химиялық біркелкілігіне күйеу арқылы қол жеткізу қиын. Көп компонентті қорытпаларды өндірудің балама

әдістерінің бірі-атом деңгейінде легирлеуге мүмкіндік беретін күшейтілген пластикалық деформация. Осыған байланысты, [22] сипатталғандай, МҚ әдісі жоғары энтропиямен көп компонентті қорытпаны алудың ең қарапайым және тиімді әдісі болып табылады.

МҚ әдісінің дамуы сонымен қатар қорғаныс қабатын алу перспективаларын ашады және әртүрлі құрылымдық фазалық күйлер мен композицияларды синтездеу мүмкіндігі туралы идеяны едәуір кеңейтуге мүмкіндік береді. Жабындарды алудың бұрын белгілі тәсілдерімен салыстырғанда МҚ әдісінің артықшылықтарына, ең алдымен, жағу технологиясын жеңілдету, сондай-ақ шатыр материалдары мен жабындарды таңдауда шектеулердің болмауы жатады.

Сондықтан, дәстүрлі металлургиялық әдістер қиын болған жағдайда, МҚ әдісі интерметалл қосылыстарын, аморфты қорытпаларды және қатты ерітінділерді алу үшін қолданылады деп күтілуде. Даладағы МД пайдалану нәтижелерімен одан әрі техникалық прогресс және оны кеңінен қолдану технологияда МҚ әдісін пайдалануды қиындататын негізгі проблемаларды шешумен байланысты болады (қуатты жабдықты әзірлеу, қоршаған ортаның ластану проблемалары, МҚ жағдайында айналу заңын сипаттайтын жүйелерді әзірлеу. Сонын бірі осы жұмыста қолданыламыз.

1.3 Нитрид құрлымы арқылы алынған жабындардың қасиеттері

Нитраттар-бұл топырақтағы азотты тыңайтқыштардан асатын өнімдер, сонымен қатар суда жиналатын нитраттар. Зерттеушілер нитраттар мен нитриттері бар науқастарда метгемоглобинемияны тудыратын асқазан қатерлі ісігін жасады, Чехословакия және Ресейде болып жатқан жүйке және жүрек-тамыр жүйесіне теріс әсер етеді.

Титан нитридi-бұл 14,8-ден 21,6% - ға дейін азотты (масса бойынша) құрайтын, $Ti_{10}N_6$ формуласымен қалайыға дейін ұсынылатын инъекция фазасы. Физикалық қасиеттері Титан нитридi тығыз күйдегі сары-қоңыр ұнтақ алтын сары болып табылады. Меншікті электр кедергісі 40 мк Ом·см. Микро қаттылығы 2100 кгс/см². Серпімділік модулі 26400 кг/мм².

Титан нитридін келесі әдістердің бірімен алуға болады. Титанды азотпен тікелей қанықтыру. Азоттау процесі әдетте азот немесе диссоциацияланған аммиак ортасында 1100°C-тан жоғары температурада жүзеге асырылады. Ол үшін титан ұнтақ немесе қырыну түрінде қолданылады. Таза титан ұнтағын титан гидридiмен алмастыруға болады.

Плазмамен синтезделеді. Титан нитридін алу үшін бастапқы өнім ретінде $TiCl_4$ немесе титан ұнтағын қолдануға болады. Плазма түзуші газ-азот. Осылайша алынған ұнтақтардың саны 20 нм-ден 150 нм-ге дейін өзгеруі мүмкін.

Жоғары температуралы синтезді тарату арқылы. Әдістің мәні-жылу шығарумен бірге жүретін титан мен азоттың химиялық реакциясы. Процесс

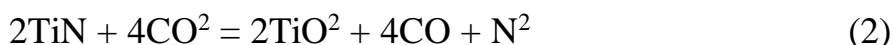
герметикалық реакторда жүзеге асырылады, онда өздігінен жану процесі азот пен титан ұнтағымен толтырылған контейнерді жылыту арқылы басталады. Бұл титан ұнтағын алудың екі әдісінің бірі. Сонымен қатар, басқа да әртүрлі әдістер бар.

Химиялық қасиеттері бойынша. Титан нитридін ауада 700-800°C дейін антиоксидант болып табылады, осы температурада ол оттегі тоғында жанады:

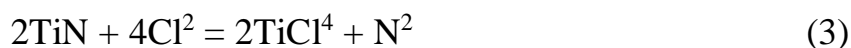


Титан нитридін сутегі немесе азот пен сутегі қоспасы ортасында 1200°C дейін қызған кезде инертті.

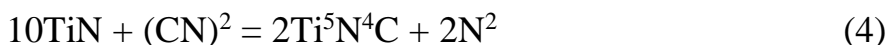
Титанның стехиометриялық нитридін стехиометриялық тұрақтылықты көрсетеді, бірақ реакция үшін CO^2 -мен баяу әрекеттеседі:



Хлор титан нитридінмен 276 ° C-қа дейін әрекеттеспейді, бірақ оған 300-400°C-тан жоғары температурада әсер етеді:



1300°C температурада сутегі хлоридін қалайы реакциясына титан газы мен азот хлоридін түзеді. Титан карбонитридіннің түзілуі:



Бөлме температурасында титан нитридін күкірт қышқылы, тұз қышқылы, фосфор қышқылы және хлор қышқылы, сонымен қатар хлор мен тұз қышқылы, оксал қышқылы және күкірт қышқылы үшін тұрақты қосылыс болып табылады. Қайнаған қышқылдар (тұз, күкірт және хлор) қалайымен әлсіз әрекеттеседі. Суықта натрий гидроксидін ерітіндісіне әсер аз болады. Ол азот қышқылымен әрекеттеседі және күшті тотықтырғыш болған кезде гидрофтор қышқылымен ериді. Біз бұл құбылыстармен шектелмейміз және титан нитридін жағдайға байланысты әр түрлі әрекет етеді деп айтқан кезде, біз қателеспейміз.

Қолдануға келетін болсақ, титан нитридін ыстыққа төзімді материал ретінде қолданылады, оның ішінде оттегі жоқ атмосферада металдарды балқыту үшін қолданылады (бұл әртүрлі материалдарды жылытуға, кептіруге, күйдіруге, күйдіруге немесе балқытуға арналған контейнер). Металлургияда бұл қосылыс титан қорытпасынан жасалған Болатта ірі металл емес қосылыстар (бірліктер мен ондаған микрон) түрінде болады.

Мұндай қосылыстар әдетте төртбұрышты және тікбұрышты пішінді болады, бұл формаларды металлографиялық талдау арқылы оңай анықтауға болады. Сонымен қатар, қорытпадан түзілген титан нитридінің үлкен бөлшектері құйылған металдың сапасының нашарлауына әкеледі. Титан нитриді металл кесетін құрал үшін тозуға төзімді жабындар, сондай-ақ сары "алтын" түске арналған протездеу өндірісінде қолданылады. Микроэлектроникада мыс металдандырумен бірге диффузиялық резистор ретінде қолданылады. Титан нитриді тозуға төзімді және сәндік жабын ретінде де қолданылады. Сыртқы көріністе ол алтынға ұқсайды, құрамында металдар бар.

1.4 Механикалық процес кезіндегі фазалық айналу барысы

XIX ғасырдың соңында химиялық реакцияларды жеделдетудің механикалық әдістеріне қызығушылық пайда болды, әсіресе қатты денелерде. Д. И. Менделеев қатты заттардың бір-бірімен әрекеттесуі үшін "оларды ұсақтап, араластыру керек" деп шешті. 1920 жылдары Бриджмен жоғары қысымның қатты дененің фазалық ауысу жылдамдығына әсерін жүйелі түрде зерттей бастады. Оның зерттеулерінің маңызды нәтижесі - ол қатты қысымға ұшыраған кезде деформациялық ығысуларға байланысты қатты фазалық процестердің үдеуінің әсерін анықтады. Оның жұмысы осы әсерді кеңінен зерттеуге әкелді. 1960 жылдардың аяғында Бенджамин қызметкерлері жоғары дисперсті никель негізіндегі қорытпаларды алу үшін металл ұнтақтары мен қорытпаларын механикалық активаторларда өңдеуді қолдануды ұсынды. Сонымен қатар металдардың атомдық деңгейде араласуы, яғни қорытпалардың түзілуі белгіленеді. Бұл құбылыс "механикалық қорытпалар" деп аталады. МҚ әдісімен қатты ерітінділерді, тұрақты және метастабильді интерметаллдарды, аморфты қорытпаларды алуға болады [23]. Алайда, $\langle L \rangle \approx 15$ нм мөлшерінде түйіршік көлемінде дислокацияның болмауын есепке алғанда, бұл модельде МҚ-да релаксация процесінің негізгі рөлі айқын көрінеді: соққы кезінде материалдың локализациясының қатты өсуі байқалады, ал соққыдан кейін атомдар дислокация ядросы арқылы қатты таралады. Сонымен қатар, дислокация нәтижесінде пайда болатын кернеу GeAl жүйелерін механикалық сіңіруде маңызды рөл атқарады, жүйелері төмен температурада араласпайды [24].

Жергілікті жылытудың қатты бөлшектер арасындағы механикалық байланысқа әсері бірнеше ғылыми еңбектерде қарастырылды [25]. Олар байланыс бетінің бір ауданға үйкелісі жылу қуатының тығыздығымен және екі бөлшектің бір-біріне қарай сырғуымен байланысты деп болжады. Жылу қуаты шексіз жұқа байланыс қабаттарына бөлінеді және байланыс алаңына жақын жұқа қабаттың еруіне жетеді. Балқытылған аймақ қаныққан қатты ерітінді алу үшін жоғары жылдамдықпен салқындатылады.

[26] жұмыста диффузияның "ығысуды араластыруға"(диффузия қажет емес) және ерітіндінің гомогенизациясына қосқан үлесін бағалау нәтижелерін ұсынамыз. Диффузияны жеделдету механизмдерін қарастырыңыз: деформация кезінде пайда болатын біркелкі емес саңылаулар; механикалық легирлеу кезіндегі қыздыру; заттардың бөлшектердің шекаралары мен шекаралары бойымен жүруі. Жоғарыда келтірілген бағалаулар диффузияны жеделдетудің барлық белгілі тетіктері оннан аспайтын Атом аралықтарының ығысуына әкелуі мүмкін екенін көрсетеді. Жылдам диффузиялық диффузиялық бөлшектердің шекарасы бойымен МҚ температурасында тез диффузия жарықтың диффузиялық арнасын қанықтыра алады, ал бөлшектердің көлемін қанықтыру (және гомогенизация) жүзеге асырылмайды. Сондықтан МҚ негізгі процесі диффузия емес, "ығысумен араластыру" ретінде анықталады.

Сонымен қатар, барлық екілік жүйелерде механикалық балқыту арқылы екі таза металдан біртекті қатты ерітінді алу мүмкін емес, мысалы, Fe-Ag жүйесінде [27.28]. Бұл мүмкіндік фазалық тепе-теңдік диаграммасымен емес, ығысу компонентінің деформация коэффициентімен анықталады. Егер "араласпаудың" себебі компоненттердің әртүрлі қаттылығында болса, онда қаттылықты оның жұмсақтығын еріту арқылы теңестіруге болады. Бастапқы компоненттердің механикалық қасиеттерінің әсері туралы деректер (беріктік шегі, бұзылу деформациясы, қаттылық және т.б.). Балқу тиімділігі неғұрлым жоғары болса, бастапқы күйдегі бөліктің механикалық қасиеттеріндегі айырмашылық соғұрлым аз болады, бұл модельмен бірге бөліктің қаттылығын теңестіргенге дейін дәнекерлеудің мүмкін еместігін көрсетеді.

Жұмыс барысында металдың физикалық қасиеттерімен байланысты үш негізгі механизм сипатталған: пластикалық қасиеті, сынғыштық және қаттылығы мен төзімділігі. Пластикалық металды пластик механизмімен өңдеу кезінде бөліктер бір-бірімен немесе жұмыс камерасының қабырғаларымен қапталады, онда жұмыс шары жарылып кетеді. Біртіндеп ауыспалы қабаттары бар бор шарының бетінде балқытылған металдың көп қабатты бөлшектерінен көп қабатты жабын пайда болады. Алайда, әрі қарай механикалық өңдеудің нәтижесінде бұл қабатты түзілудің пластикалық деформациясы соққыға әкеледі, бұл қатты дененің сынғыштығын арттырады, соңғы жабын ыдырайды және жұмыс сұйықтығының бетіне жетеді. Кейіннен диффузияның арқасында қатты ерітінділер, интерметалды қосылыстар және тіпті аморфты композиттер қабатты түзілуден алынады, онда металл микроскопиялық деңгейде араласады, ал араластыру атом деңгейіне жетеді. Авторлардың пікірінше, бұл механизм ең тиімді болып табылады.

Механикалық қорытудың үшінші қасиеті түрінің өзара әрекеттесуін қарастырады және егер иілмелі компоненттер қосылатын жоғарыда сипатталған механизмдермен салыстырсақ, онда нәзік заттар жағдайында

қорытылу болмайды деп айтуға болады. Мұндай болжамның себебі пластикалық металдар қатты материалдарға қарағанда, пластикалық деформация тән емес, пластикалық деформация есебінен үлкен байланыс алаңын құрайды. Тиісінше, ол қатты заттар арасында реакция кезінде процестің шектеуші факторы реагенттердің түйісуінің пайда болуы болып табылады. Реакцияны жүзеге асыру компоненттерді біркелкі емес ұсақтау есебінен болады деп болжанады неғұрлым әлсіз материал ұсақтаудың аз шегі болады, ал аз қалын материал неғұрлым ірі бөлшектер түрінде қалады.

Осылайша, әр түрлі компоненттің неғұрлым ірі бөлшектері басқа компоненттің ұнтақталған бөлшектерімен қоршалатын болады "әлсіз пластикалық" механизміне ұқсас. Бірақ бұл ретте, әрине, диффузиялық қашықтық пластикалық реагенттер жағдайына қарағанда әлдеқайда көп, бұл көбінесе төмен температура кезінде МҚ процесін қиындатады.

Сондықтан, МҚ механизмін түсіндіруге алынған әртүрлі көзқарастарды талдай отырып, толық қабылданған тұжырымдама МҚ процесінің белгілі бір кезеңінде белгілі рөл атқаратын бірнеше механизмдерге негізделу болуы керек деп айтуға болады. Айта кету керек, фазалардың айналу механизмі өңделетін заттың физикалық қасиеттеріне байланысты қаттылық, икемділік, сынғыштық сапасы байқалды.

1.5 Жұмыстың барысы

Осы жұмыс барысында мен заманауи талаптарға сәйкес жоғары сапалы және зиянсыз материалдар алу мүмкіндігін қарастырғым келеді. Осыған байланысты мен механохимия жолында өзіме қойылған мақсаттарды қарастырдым. Себебі, қазіргі уақытта табиғи физика мен химияны қолдану, күнделікті қолданатын жабдықтар мен материалдардың сапасы жақсаруда. Осыған байланысты мен жобада алдағы мақсаттарға қол жеткізуді мақсат етіп қойдым.

Ең алдымен, қоршаған орта жағдайына байланысты. Жасалған жұмыста адамдар мен қоршаған ортаға зиян тигізбеңіз.

Біріншіден, біз қолданатын құралдар жабдықтың сапасын жақсарталады.

Атап айтқанда, мен корозды тұрақты, берік және басқалардан өзгеше етіп жасауға тырысамын.

Сонымен қатар, басты мақсат-қаражаттың сапасы мен қолжетімділігін қамтамасыз ету.

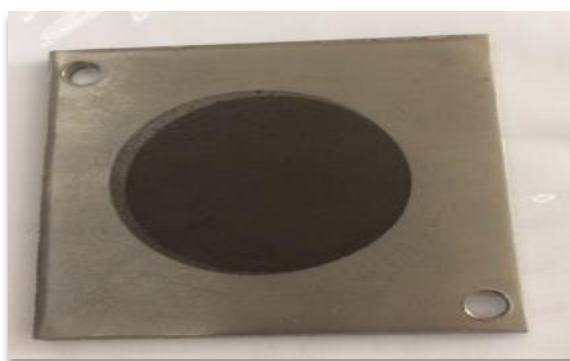
Сондықтан мен механохимия бағытын жалғастыруды шештім. Бұл бағытта көп нәрсе бар.

2 ТӘЖІРИБЕЛІК ҚҰРАЛ– ЖАБДЫҚТАР, ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

2.1 Зерттеу үлгісін дайындау әдісі

Соңғы қарқынды зерттеулердің тақырыбы механикалық әсерлерді бастайтын қатты фазалық процесс екенін бәріміз білеміз. Біз бұл реакцияны пайдалану перспективасымен байланысты қолданыстағы технологияларға қарағанда экологиялық таза және экономикалық тұрғыдан тиімді жаңа технологиялық процестерді құру саласында қарастыра аламыз. Бүгінгі таңда МҚ-де алынған екі компонентті және көп компонентті қорытпалардың саны жүздегенге бағаланады. Соңғы бірнеше жылда олар жоғары температура мен тұрақтылықты алады.

Зерттеу материалдарына келетін болсақ, мен жоғарда айтқанымдай, титанды алудың көптеген жолдары бар. Оларды титанды азотпен тікелей қанықтыру және жоғары температуралы синтез және басқа әдістермен алуға болады.



Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
До 0,6	До 0,1	До 0,1	3,5 — 5,3	До 0,05	86,45 — 90,9	5,3 — 6,8	До 0,3	До 0,2	До 0,015

6 – сурет техникалық титан үлгісі.

Титан қорытпаларында жоғары беріктігі бар құрылымдық қорытпалардың ыстыққа төзімді қорытпалардың және химиялық қосылыстарға негізделген қорытпалардың үш тобы бөлінеді. Қолдану саласына байланысты құйылған қорытпалар мен деформацияланатын қорытпалар арасында айырмашылық бар.

Үлгілерді жасау әдісіне келетін болсақ. Біз екі түрлі модель жасадық. Бірінші үлгі бұл біздің көлемі кіші ішке қолданатын, ал екінші үлгі оның бетін жабады. Біз қолданатын бөтелкенің көлемі шамамен 80 мл³ құрайды. Ал диаметрі 6,5 см, ұзындығы 6,4 см. бірінші үлгінің ұзындығы 1,75 мм, ені

3,7 мм, биіктігі 1,3 мм және салмағы 0,006 кг. екінші модельдің ұзындығы 12 см, ені 10 см және биіктігі 5 мм.

2.2 Діріл тудырғыш диірмен ИВ20 құрылғысы

Өнім туралы жалпы ақпарат. Айналмалы дірілмен жалпы мақсаттағы ИВ20 электромеханикалық діріл тудыратын құрылғы. Нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес сертифицираталған: МЕМСТ (ГОСТ) 10291–94.

Өнімнің мақсаты бетонға орнатылып қоспалары мен топырақты тығыздау болып табылады, түсіру және елеу, діріл, діріл алаңдары және т.б. бойынша техникалық жұмыстарға арналған. Оны 5ші суретте байқасақ болады.



7 – ші сурет сілкініс тудырғыш құрылғы ИВ20

Тұтынылатын токтың күш мәні келесі кестеде көрсетілген.

1–кесте

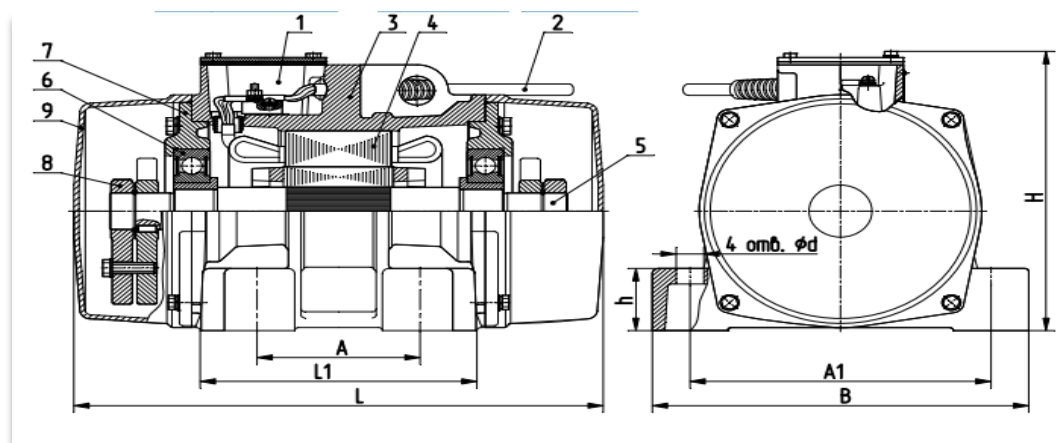
Выбратордын түрі	Кернеу, В	Ток, А жұмыс істеу барысында		
		S1	S2 60%	S3 40%
ИВ–2050,	42 220-380	36 8,5-5	41 10-5,6	-
ИВ–107Н	42 380	21 3,5	26,4 3,7	29,5 4,2
ИВ–12– 25,106 Н	42 220-380	18,5 4-2,4	23 5,0-2,8	26,4 5,6-3,3

Вибраторлардың габариттік және орналастандыру өлшемдері (мм) 7–суретте және 2–кестеде көрсетілген.

2–кесте

Тип вибратора	L	B	H	L1	A	A1	d	h
ИВ–20–50, ИВ–20–50Н	410	300	270	221	130	240	22	60
ИВ–107Н								
ИВ–12–25	518							
ИВ–12–25Н								
ИВ–106Н								

Сегізінші суретке назар аударыңыз, жұмыс принципі мен құрылымымен танысыңыз.



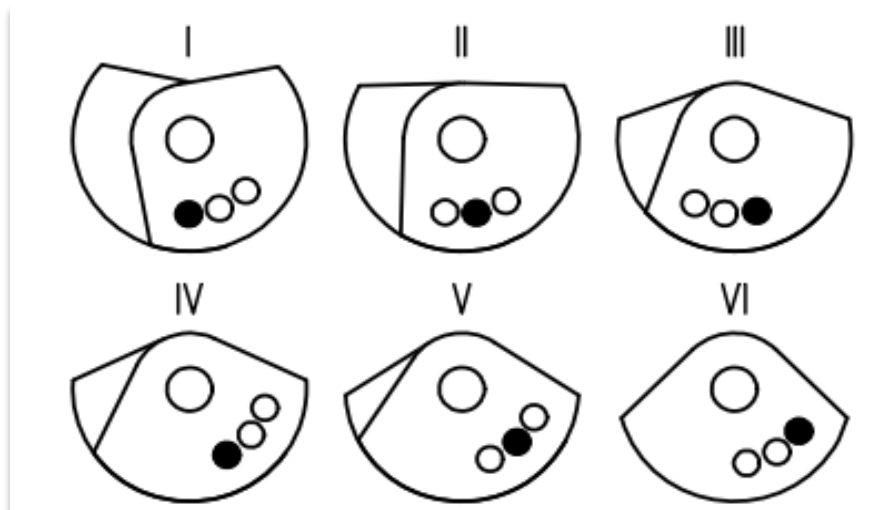
8 –ші сурет ИВ–2050 мен ИВ–107Н,

- 1 –қорап; 2 – ток өткізетін сым; 3 – станинасы;
4 – қозғалтқыш; 5 – ротор; 6 – шар; 7 – шар қалқаны; 8 – дебаланс тұрақтандырғыш; 9 – қақпақ.

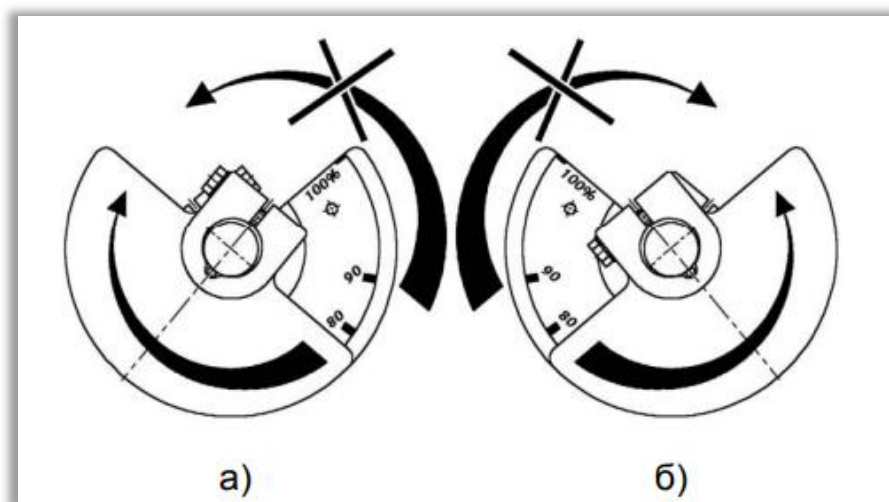
Вибратор айналмалы күшті тудыратын күш элементінің қозғалысы (сурет 9). Ротор білігінің соңында орнатылған теңгерімі бар Электр қозғалтқышын білдіреді. Дисбаланс, ротордың айналмалы білігі Орталық күш болып табылады. 4 Электр қозғалтқышының статоры 3 алюминий жақтауына салынған. Ротордың 5 білігі 6 мойынтірекке сүйенеді, мойынтірекке 7 қорғаныс қақпағы орнатылады. Теңгерімсіз ротордың 8 білігінің соңғы бөлігі 9 қақпақпен жабылған. Мойынтірек пен қақпақ рамалық болттармен тығыздалған. Вибратордағы мойынтіректердің сенімді жұмысын қамтамасыз ету үшін, қозғалтқыштан айырмашылығы, біліктері бар

жылжымалы мойынтіректер, сондай-ақ корпустары бар қону мойынтіректері қолданылады.

Вибратор күшінің мөлшерін реттеу үшін біліктің екі ұшындағы теңгерімсіздік екі есе артады. Шпон қозғалтқыштың жанында орнатылған ротор білігіне қосылған. Біліктің ұшына жақын орналасқан теңгерімсіздік білікке қатысты бұрылысты білдіреді. Реттеу екі ұшындағы шеткі нүктелердің салыстырмалы жағдайын өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Біліктің екі ұшындағы жұптық теңгерімсіздік бірдей бұрышта орналасуы керек. Дұрыс орнатылған кезде олар вертикальға қатысты симметриялы болады. Бұл 6-суретте көрінеді.



9 – шы сурет статикалық айналым моментті реттеу схемасы және вибраторларының сатылы реттелетін дисбаланстары, ИВ-2050.



10 –шы сурет статикалық моментті тұрақтандырыу схемасы қалыпты реттелетін дебаланс ИВ–2050Н: а) сол жақ шеті; б) оң жақ шеті.

Ережелер суреттерге сәйкес		Діріл құрылғысы ИВ–2050		МС 52776–2007 боиынша жұмыс істеуі
		Дебаланстардың статистикалық сәті,	Синхронды тербеліс жиілігі кезіндегі күш	
Сурет 9	10,5 кг·см		9,9/7,3	
	13,5 кг·см	12,8/9,3		
	16,5 кг·см	15,8/11,4		
	18,5 кг·см	17,7/13,2		
	19,5 кг·см	19,1/14,1	S3 65%	
	20,5 кг·см	20,0/14,2		
Сурет 10	0...91*%	0...18,09/0...16,4	S1	
	91...100*%	18,09...20,0/16,3...18,2	S3 65%	

Енді өзіміздің діріл құрылғысына көшейік. Оның ерекшелігі-әртүрлі нұсқалар. Суреттерден оның байқасағын көруге болады.

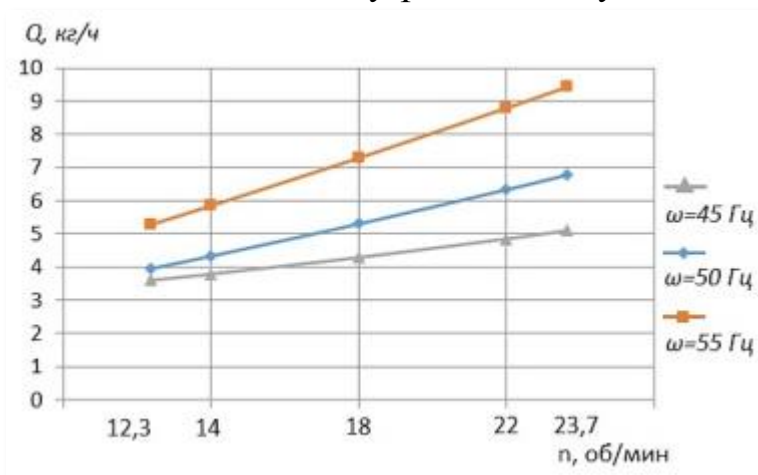


11 –ші сурет біздің лабораториялық жұмыс істелген діріл құрылғысы.

Көріп отырғанымыздай, бұл басқа құрылғыны құрастырудан мүлдем өзгеше. Артықшылықтары үлгіге тікелей байланысты. Себебі үлгілерді орнату жиілігін жоғалтпау үшін олардың үстінен тікелей орналастырылады. Сондықтан соісіцент біздің энергиямыз бен пайдалы әсеріміздің арқасында өте тиімді және жоғары типтегі.

2.3 MBK 100–2R2GT4 INVT жиілік түрлендіргіші 2,2 кВт

Егер өнім туралы айтатын болсақ, MBK100-2R2GT4 сериялы вектормен басқарылатын әмбебап диск-бұл жетілдірілген функциялары бар құрылғы. Түрлендіргіш толығымен оңтайландырылған векторлық бақылауды және сенсорларға негізделген вольт-жиілікті басқаруды жүзеге асыратын сандық сигнал процессорына негізделген, сонымен қатар желдеткіштер мен сорғы қозғалтқыштарын басқару үшін қолдануға болатын осы түрлендіргіштердің ауқымын кеңейтетін басқа оңтайландыру функциялары, әсіресе жылдамдық қажет жерлерде сорғының моментіне негізделген жоғары дәлдікпен, сондай-ақ төмен жиілікті шығу үшін бақылау.



12 – ші сурет уақыт бірлігіне байланысты жиіліктің түрленіуі

Сиптамалар технологиясы.

- Үш басқару режимі: векторлық, вольтты жиілік және моментті басқару, кері байланыс сенсоры жоқ;

- 18,5-95 кВт номиналды қуат модельдерінде кіріс қуатының коэффициентін жақсарту, сондай-ақ жалпы тұрақтылық коэффициентін жақсарту үшін Тұрақты ток жиілігін түрлендірудің кіріктірілген ұсақтағыш реакторы пайдалы әсер етеді;

- Барлық модификацияларға арналған ішкі тежегіш блок, қуаты 0,75-15 кВт, тежегіш резисторын тез тоқтату үшін тікелей қосуға болады;

- Кіріс және шығыс терминалдарының бағдарламаланатын функциялары қажетті жұмыс режимдерін біріктіруге мүмкіндік береді;

- Механикалық резонанстың алдын алу, жүйенің тұрақтылығы мен сенімділігін арттыру үшін жиілікті беру функциясы;

- Қуат бұзылғаннан кейін өнімділікті жылдам қалпына келтіру;

- Күту режиміне өтуді кешіктіру мүмкіндігі;

- Артық моментті анықтау;

- Нақты уақыт режимінде параметрлерді көруге мүмкіндік беретін екі жақты жылжыту түймесі.

2.4 Рентгендік дифрактометр құрылғысына талдау

Дифрактометр бұл кристалды объектідегі дифрагирленген сәуленің қарқындылығы мен бағытын өлшеуге арналған өлшеу құралы. Ол құрылымдық талдаудың әртүрлі мәселелерін шешу үшін қолданылады. Ол жоғары сапалы жартылай индуктивті фазалық талдау, жасуша параметрлерін анықтау және кристалдардың ыдырауы, сонымен қатар поликристалды құрылымдардың микроконтроллерлік және текстуралық талдауы үшін қолданылады.

Рентгендік дифрактометрлер жоғары жылдамдықты және қолайлы көру өрісі бар әртүрлі материалдардың сандық және сапалық фазалық құрамын анықтауға арналған. Дизайн наноматериалдарды жылжымалы сәулемен талдауға, төмен көміртекті ыдырауға, жұқа қабатты талдауға арналған модульді қамтиды.



13 –ші сурет рентгендік дифрактометр

X'Pert Pro рентгендік дифрактометр – ғылыми зерттеулер үшін және өнеркәсіпте аналитикалық талдаулар үшін модульді құрастырманың жоғары рұқсат етуімен тік орналасқан гониометрімен бірегей рентгендік дифрактометр. X ' Expert Pro дифрактометрі-бұл Panalytical-тің жаңа инновациялық дамуы, оның құрамына алдын-ала калибрленген оптикалық Модульдер кіреді, олар сізге барлық мүмкін рентгендік дифрактометрлерді шешуге мүмкіндік береді. Бұл PANalytical, x 'Expert PRO MPD ұнтақты дифрактометрімен және X' Expert PRO Mrd дифрактометрімен 50 жылдық сәтті тәжірибеден тұратын ерекше серия. Алғаш рет дифракциялық зерттеулерде үлгіні"томографиялық"сканерлеу әдісі қолданылады, бұл оны кез-келген жазықтықта көрсетуге мүмкіндік береді және үлгінің ішкі құрылымының үш өлшемді проекциясын көрсетеді. Дифрактометрдің

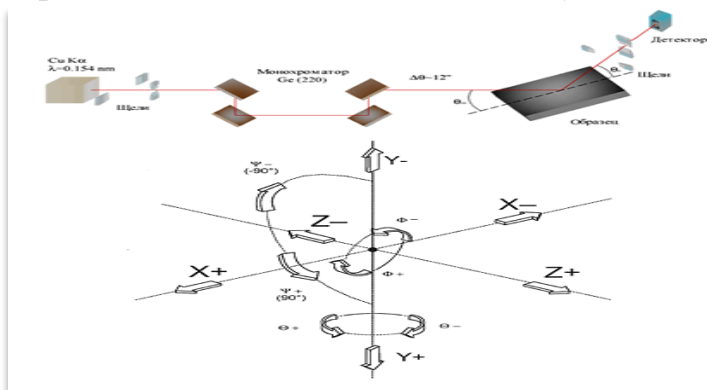
сыртқы қорғаныс корпусы радиациялық қауіпсіздіктің барлық халықаралық талаптарына сәйкес келеді (Vollschutz Röntgenverordnung 1987 талаптарына сәйкес). Паналитикалық дифрактометрлердің барлық модельдеріне оптикалық модульдерді орналастыру дизайны паналитикалық-префикс пішінінің ерекше дамуына негізделген (алдын-ала тураланған жылдам ауыстырылатын рентген модульдері. Бір дифрактометр рентгендік дифрактометрдің барлық міндеттерін орындай алады:

- Классикалық фазалық талдау, жоғары жылдамдық және анықтау дәлдігі;
- Бірлік ұяшықтың параметрлерін анықтау және нақтылау;
- Қабаттар бойынша фазаны анықтау;
- микрорефракция; - текстуралық талдау, полярлық карталарды құру; - микрокристалдардың кернеулері мен өлшемдерін анықтау;
- Жұқа және ультра жұқа қабаттар мен көп қабатты жабындарды талдау;
- Эпитаксиалды қабаттарды, жоғары реттелген құрылымдарды, қисықтықты талдау, кері кеңістік карталарын құру, құрылымдардың табыстылығын бағалау;
- Монокристалдарды талдау;
- Рефлектометрия, қабаттардың тығыздығы мен қалыңдығын анықтау;
- Наноөлшемді ұнтақтарды және материалдарды талдау, т.с.с.

Дифрактометрге классикалық ұнтақ компоненттері мен арнайы модификациялар кіреді, өйткені ол оптикалық модульдердің көптеген түрлерін қолданады: параболалық және фокалды линзалар, жауынгерлік монохроматорлар, гибридті монохроматорлар, бір және жартылай капиллярлы оптика, үш осьті және т.б. рентгендік дифрактометр-Кристалл объектісінде дифракцияланған рентген сәулесінің қарқындылығы мен бағытын өлшеуге арналған құрылғы. Ол рентгендік талдаудың әртүрлі мәселелерін шешу үшін қолданылады. Ол дифракция бұрышы үшін дифракцияланған сәуленің қарқындылығын берілген бағытта 10 пайыздық тармаққа дейінгі дәлдікпен және 10 пайыздық тармаққа дейінгі дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Рентген, фазалық талдау және поликристалды объектілердің құрылымын зерттеу, монокристалды блоктардың бағыты, монокристалдардан алынған шағылысу қарқындылығының толық жиынтығы, әртүрлі сыртқы жағдайларда көптеген объектілердің құрылымын зерттеу және т. б.

"Xpret Pro" әмбебап рентгендік дифрактометр-поликристалды рентгендік құрылымдық талдау және монокристалды дифракциялық талдау саласындағы ғылыми және қолданбалы есептерді шешу үшін қолданылатын аналитикалық құрал. Дифрактометрді басқарыңыз, деректерді жинаңыз және өлшеу нәтижелерін компьютермен өңдеңіз. Рентгендік дифракция технологиясында көп қабатты эпитаксиалды құрылымдарды бұзбай

анықтаудың кең мүмкіндіктері бар. Бұл әдістің артықшылықтары: іске асырудың қарапайымдылығы, терең бұзылмайтын талдау және жоғары ақпараттылық. Техникалық сипаттамаларды алтыншы кестеден байқауға болады. Жұмыстың барысын тоғызыншы саннан байқауға болады.

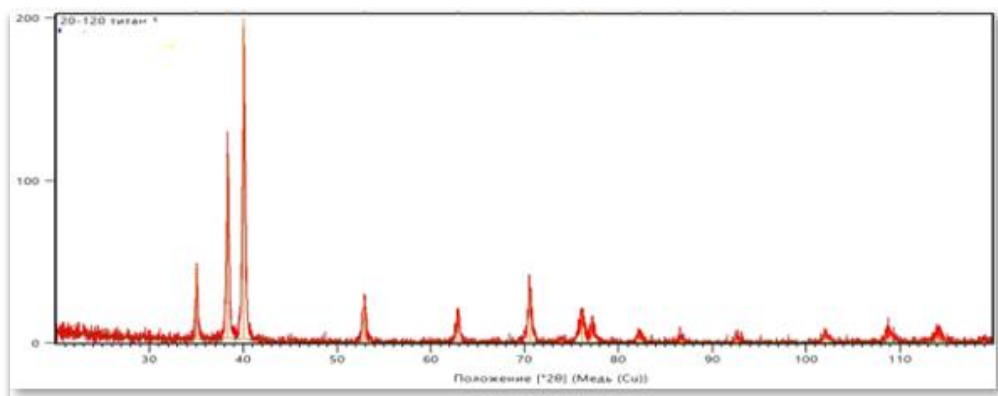


14 –шы сурет жұмыс кезіндегі жүру бағыты.

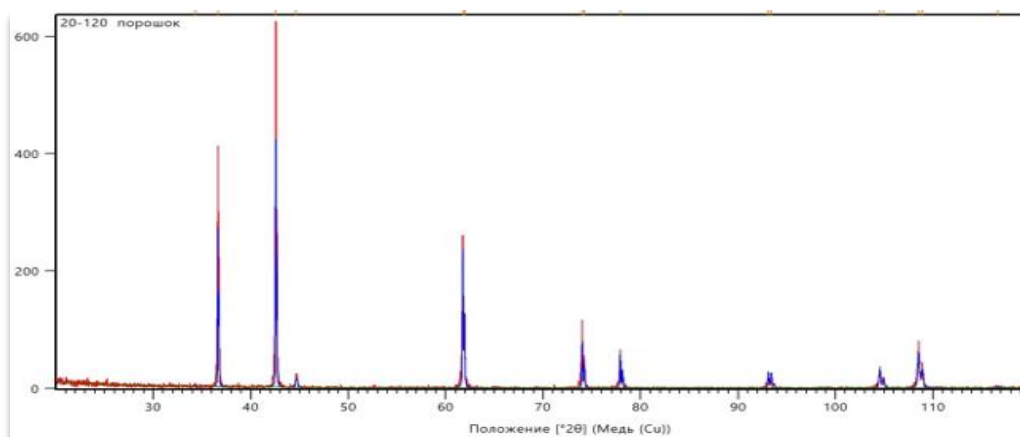
4– кесте. Ренгендік дифрактометрдің техникалық мүмкіндігі.

Дифрактометрдің қуаты	2.5 кВ, тоқтаусыз жұмыс кезінде
Шағылуы	Cu K _{α1} , сызықтық немесе нүктелік фокус
Шағылудан қорғанысы	Толық қорғаныс
Прибордын басқарылуы	ДК көмегемен
Бұрыштын диапазоны	-5.5° –120° ω шкаласы бойынша
	-15° –180° 2θ шкаласы бойынша
	0–360° φ айналмалы осы бойынша, үлгіге перпендекулярна

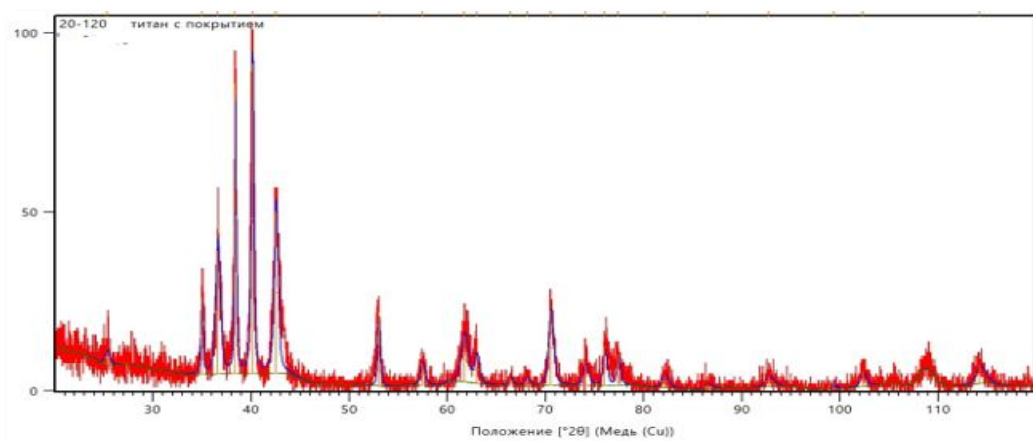
Түсіру келесі бағыттар бойынша жүзеге асырылады: құбырдағы қысым U=40 кВ; құбырдағы ток I=30 мА; жұмыс уақыты 0,5 с; түсіру қадамы 0,02° тергеу бағыты.



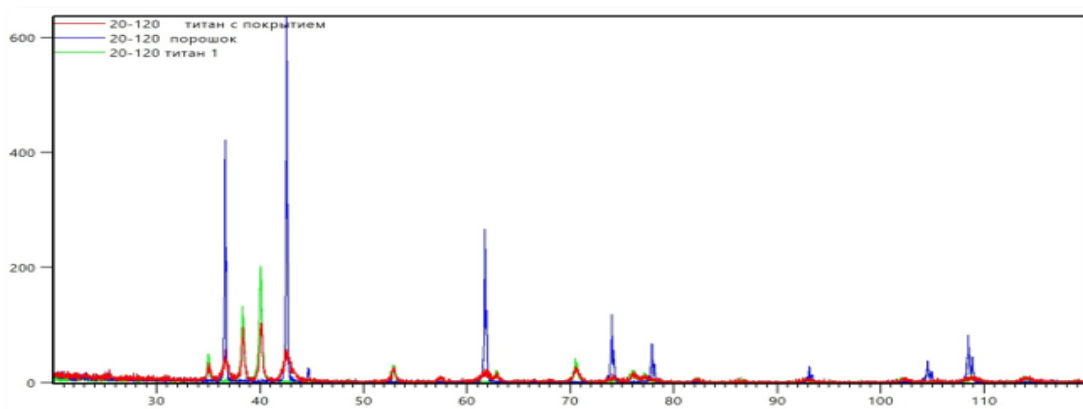
15 –шы сурет BT1 үлгісінің диффрактаграмасы



16 – шы сурет TiN ұнтағының дифрактаграмасы



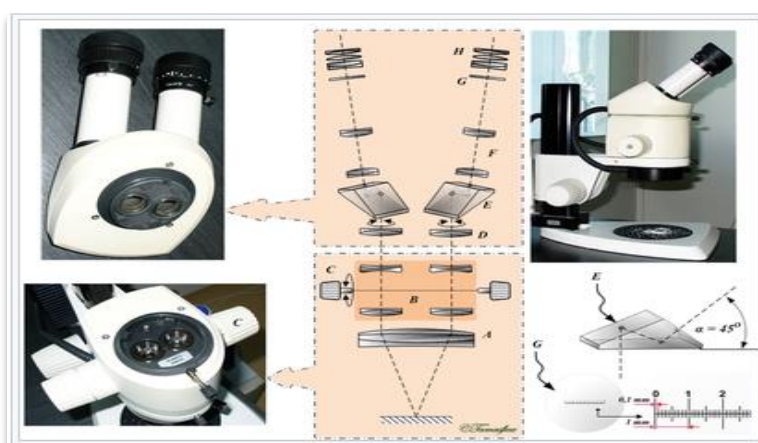
17 – шы сурет титан бетіне TiN ұнтағын жаққанан кейінгі дифрактаграмасы



18 – ші сурет Ti бетіне TiN ұнтағын жаққанан кейінгі ұқсастыру дифрактаграмасы

2.5 Электронды микроскопия

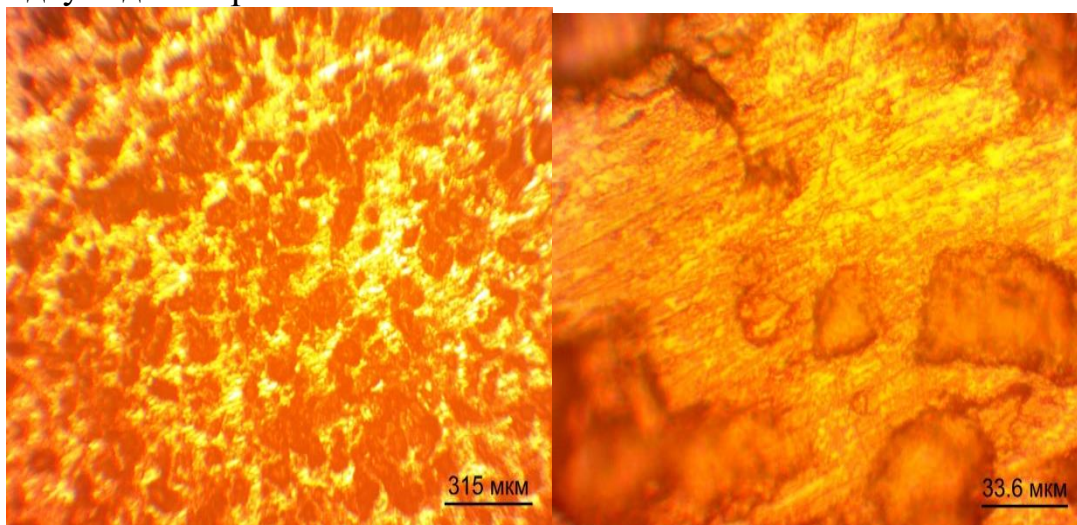
Оптикалық немесе жарық микроскоп (грек. "кішкентай "және" skos " – көзге көрінбейтін объектілердің үлкейген суреттерін (немесе олардың құрылымының бөлшектерін) алуға арналған оптикалық аспап. Адам көзі- белгілі бір рұқсатпен сипатталатын биологиялық оптикалық жүйе, яғни олар әлі бір бірінен ажыратылуы мүмкін бақыланатын объектінің элементтері арасындағы ең аз қашықтықпен (нүктелер немесе сызықтар ретінде қабылданатын) сипатталатын биологиялық оптикалық жүйе. Ең жақсы көру қашықтығы ($D = 250$ мм), орташа статистикалық қалыпты рұқсат $0,176$ мм құрайды. бұл шамадан айтарлықтай аз. Сондай-ақ, фотоаппаратура орнату үшін үшінші оптикалық портпен жабдықталған аралас кәсіби микроскоптар бар. Кейбір заманауи құрылғыларда көзді тікелей бақылау мүмкіндігі толық болмауы мүмкін, бұл қарапайым және ыңғайлы ықшам дизайн аспаптарын жасауға мүмкіндік береді.



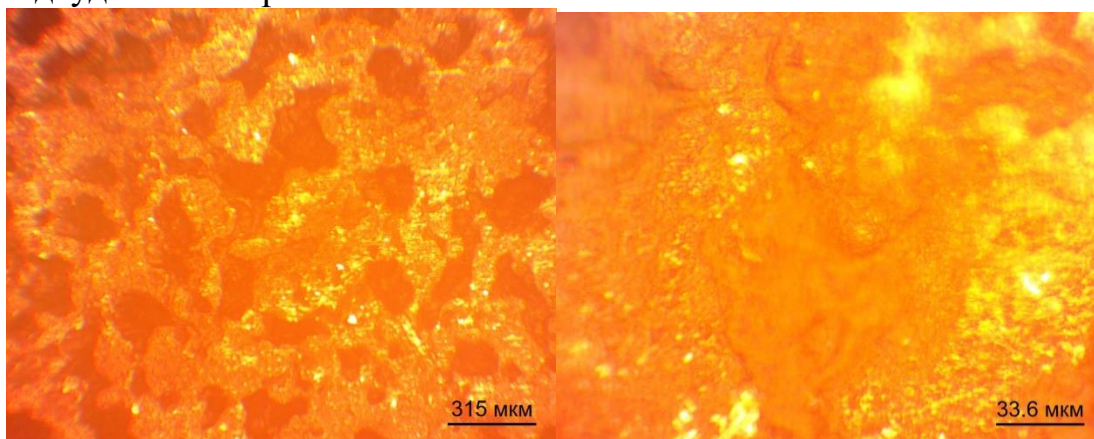
19 – шы сурет заманауи стереомикроскоптың үлкейтіу сұлбасы. А – линзасы. В–бұрылатыны. Объективтері. С – ұлғайту реттегіш. D – ішкі линзасы. Е – призмасы. F – айналмалы линзалар жүйесі. G – окулярлық тор көздері. Н – окуляр

Қазіргі электронды микроскоптардың экспоненциалды сыйымдылығы $0,1-0,3$ нм-ге жетеді. Электронды микроскопты құру принципі оптикалық микроскопқа ұқсас, оның сәулелерінің әрекеті электр тогымен қыздырылған вакуумдағы фольфрам жіптерінде орналасқан электрондардың ағынымен жүзеге асырылады, электромагниттік линза шыны линзаның күйінде орналасқан. Оптикалық микроскоптың объективі мен көзілдірігінің орнына электронды микроскоптың магниттік катушкасы қолайлы. Электронды микроскопта вакуум болуы керек, өйткені электрондар ауада алысқа кете алмайды, оттегі, азот немесе көмірқышқыл газы молекулалармен кездеседі, шашырайды, олардың жолын жауып тастайды. Жіберу электрондық ағынының өзгертілуі мүмкін қажетіне қарай қуатты электр немесе магнетитті. Электрондардың жылдамдығы жылдамдағанда электронды микроскоптың шешуші күші артады.

Өндеуге диінгі үлгі.



Өндеуден киінгі үлгі.



20 – шы сурет беттің микроқұрылымы.

2.6 ПМТЗ микромерімен физика–механикалық сынаулар

Келесі жолы біз қатал болып көрінеміз. ПМТЗ аспабының көмегімен өлшенеді. Бұл жабдықтар. ПМТЗ микроқаттылықты өлшейтін құрал-бұл металдардың, әйнектің, керамиканың, минералдардың және басқа материалдардың микроқаттылығын өлшеуге арналған микроскоп. ПМТ-3 микроқаттылық өлшегіші алмазды ұштықтағы зерттелетін материалға микроқаттылықты қысу арқылы мөлдір емес объектілердің құрылымын бағалауға арналған. Бейнебақылау жарық және қара өріс әдісін пайдалана отырып, сондай ақ полярланған жарықпен сәулеленген кезде жүзеге асырылады [29]. Микроскоптың үлкейтуі 130 және 477^x, ал алмаз

пирамидасының бұрышы-130°. микро қаттылықты өлшеуіштің салмағы 21,6 кг.

Материалдардың өте аз көлемінің қаттылығын бақылауға арналған. Ол ұсақ бөлшектердің, жұқа сызықтардың немесе таспалардың, жұқа беткі қабаттардың және қаптаманың қаттылығын өлшеу үшін қолданылады. Негізгі мақсаты бір фазаның немесе қорытпаның құрылымдық қаттылығы жіне келесі формула арқылы анықталады:

$$H=1.864*100P/d^2 \quad (5)$$

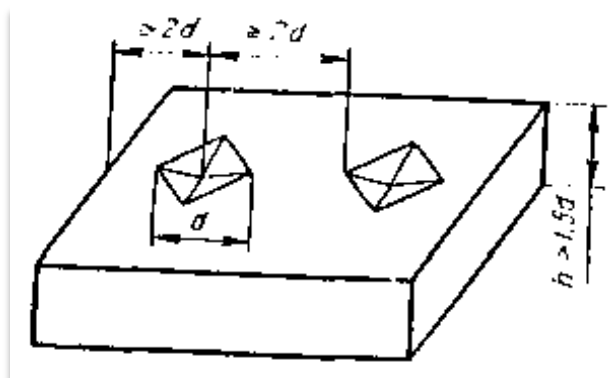
Микроқаттылықты өлшеуде көршілес таңбалардың орталарының арақашықтығы үлкен таңбаның диагоналінің ұзындығынан кем болмауы керек. Қателіктердің көзі вибрация, таңба диагоналінің ұзындығын өлшеудегі аспаптық қателер, қолмен жүктеу жағдайының идентіліксіздігі, беттік қабат құрылымының бұрмалануы және т.б. жүктеудің кемуіне байланысты барлық қателіктер өседі. Әр түрлі мақсаттағы зертханаларда қолданылатын материалдардың микроқаттылығын тексеру үшін қолданылатын негізгі құрал бұрын жаппай шығарылған ПМТ–3 маркалы құрал болып табылады. ПМТ-3 құралдары және басқа да отандық модельдер көбінесе материалдарды ілмектермен сынау үшін қолданылады. Төртбұрышты табаны мен қарама-қарсы жақтары мен 136° төбелері арасындағы бұрыштары бар Алмаз пирамидалары бастырғыш құрал ретінде қолданылады(индентор). Сынақ кезінде символ диагоналының ұзындығы өлшенеді және қаттылық саны алынған символдың бетіне қолданылатын жүктеме бөлігінің (батырманың) кесу мәні ретінде есептеледі. Жұмыс кезінде бастыру механизмінің қысым басы төмендеген кезде үстелдің айналуын қамтамасыз ету қажет. Себебі бұл алмаз пирамиданың жойылуына әкелді. Құрылымын зерттеуге дайындау кезінде бастыру механизмі бар, сондықтан алмаздың ұшы зерттелетін объектінің бетіне тиеді, ол осы бетке бағытталған микроскоптың биіктігіне бейімделеді. Бұл әдістің көмегімен үлгінің бетінде жүктемені алып тастағаннан кейін квадрат негізі бар пирамида түріндегі із қалады. Қаттылық санын анықтау үшін Р жүктемесін таңбаның бүйірлік бетінің шартты ауданына бөледі:

$$H = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (6)$$

пирамиданың қырлары арасындағы α бұрышы 136° тең, d таңба диагоналі. Есептеуді жасамау үшін қолданылатын жүктеме мен таңбаның диагоналінің ұзындығына байланысты микро қаттылық мәндерін көрсететін кестені қолданыңыз (диагональ ұзындығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым қатты металл аз болады). Жүктемені таңдау кезінде үлгінің (немесе қабаттың) қаттылығы мен қалыңдығы саласындағы облыс мөлшерін өлшеуді

басшылыққа алған жөн. Үлгінің минималды қалыңдығы жолдың диагоналінен 1,5 есе көп болуы керек. Таңбаның ортасынан үлгінің шетіне немесе таңбаның іргелес шетіне дейінгі қашықтық кемінде $2d$ болуы керек.

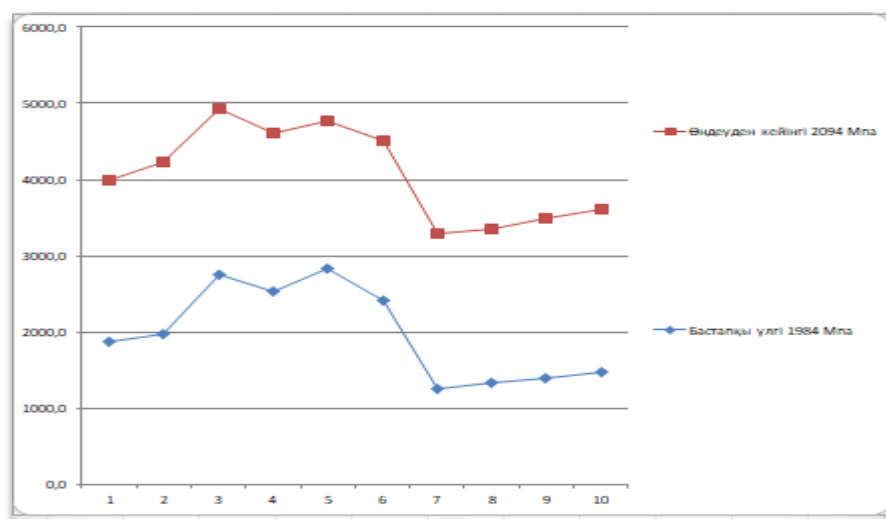
Микроқаттылықты өлшеу. Сынақтар әдетте ПМТ-3 құрылғыларында өткізіледі. 1-үлгі құрылғының айналмалы үстеліне қосылған табаққа орналастырылады.



21 – ші сурет микроқаттылықты өлшеу кезіндегі орналасу схемасы

Микро қаттылық тегіс, жылтыратылған, таза бетте анықталады. Бетінің жабысқақ емес және қызбайтынына көз жеткізу үшін сызбаларды дайындауға ерекше назар аудару керек, бұл микро қаттылықтың бұрмалануына әкелуі мүмкін. Егер үлгінің тегіс тіреу беті болмаса, табаққа пластилин мен пресс салыңыз. Тұтқа үстелді оңға қарай бұрады. Микроскоп белгілі бір биіктікте бекітілуі керек. Мақсатты реттегіш көмегімен көзілдірікке бағыттаңыз (бұл сынақ бетінің нақты бейнесін алу үшін қажет). Жұмыс орны бір-біріне перпендикуляр екі бағытта орналасқан және бұрандалармен қозғалады. Үлгінің сыналатын бөлігі үстелді жылжытқан кезде бұрандалардың қиылысқан жерінен бұрандалармен алынады. Ол тағы да нысанаға қарады. Жүкті (ойықтары бар шайбаларды) жүктеу құрылғысына салыңыз. Тұтқа объектінің жұмыс үстелін тегіс бұрады, сонымен қатар модельді біркелкі жүктейді. Ұстап болғаннан кейін, үлгіні азайту үшін тұтқаны өзіңізден бұраңыз. Содан кейін үстелдің оң жақ ұшы тұтқамен өңделеді.

Құрылғының жұмыс принципі алмаздың қысылуына сәйкес белгілі бір жүктемемен зерттелетін материалда пирамида алынған символдың диагоналінің сызықтық мәнін өлшеу болып табылады. Қаттылық саны (Н) S (d мм²) жағына бөлінген P (кг) жүктемесінің қвитанциясы ретінде анықталады, ал із бұрышы пирамида бұрышына сәйкес келеді.



22 – ші сурет BT10 қаттылығы

2.7 Профилометрия 130

Контурды өлшеу бұл беттің көлденең қимасының профилін оған перпендикуляр және белгілі бір бағытта бағытталған жазықтықта өлшеу алу процесі. Контурды өлшеу кезінде алынған графикалық контурлық кескін контурлық диаграмма деп аталады. Профильді өңдеу кезінде алынған ақпарат стандартты параметрлерді есептеу үшін қолданылады және зерттелетін беттің кедір бұдырлығын сапалы және сандық бағалауға мүмкіндік береді. Үш өлшемді координаттар жүйесінде белгілі бір кезеңдерде жасалған және қатарға орналастырылған көптеген контурлық карталар беткі рельефтің көрнекі бейнесін береді. Контур картасын тіркеу, сондай-ақ қатты беттің үш өлшемді бейнесін алу контактілі немесе контактісіз құрылғымен жүзеге асырылуы мүмкін. Бұл үшін қолданылатын құрылғы профиль жасаушы немесе профиль жасаушы деп аталады. Контакт құрылғысында контурлар инені зерттелетін бет бойымен кедір бұдырмен жылжыту арқылы көшіріледі.

130 profilometer моделі профиль параметрлерін және беттің кедір-бұдырлық параметрлерін орта сызық жүйесіне сәйкес өлшеуге арналған. Беттің кедір-бұдырлығына қойылатын талаптар өнімнің берілген сапасын қамтамасыз ету үшін беттің функционалдық мақсатына сәйкес белгіленеді. Беттің кедір-бұдырлығына қойылатын талаптар кедір-бұдыр параметрлерін және базаның ұзындығын анықтайды. Қажет болған жағдайда бағыт талаптарына сәйкес бетінің кедір бұдырлығының қосымша параметрлері белгіленеді, номиналды мән үшін кедір-бұдырлық параметрлерінің барынша рұқсат етілген ауытқуы болады. Бетінің кедір бұдырлығына қойылатын талаптардың орташа мәні және бетінің ақауымен талап етілетін бетінің кедір-бұдырлық параметрлерінің барынша рұқсат етілген ауытқуы, сондықтан кедір-бұдырлықтың әсері бақылау процесінде беттің ақауларынан алынып

тасталуы тиіс. Бұл ең аз пайызбен көрсетіледі. Бір жақты және симметриялы ауытқулар мүмкін. Қажет болса, беткі ақаулар қажет.

Кедір-бұдырлық параметрлері (бір немесе бірнеше) берілген номенклатурадан таңдалады:

R_a -контурдың арифметикалық орташа ауытқуы;

R_z -он нүктедегі тегіс емес контурдың биіктігі;



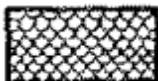
R_{max} -профильдің максималды биіктігі;

S_m -біркелкі емес аралық қадам;

S -контурдың жергілікті шығыңқы қадамының орташа өлшемі;

T_r -профильдің салыстырмалы тірек ұзындығы, мұндағы p -профильдің көлденең қимасы.

5-ші кесте өлшеу бағыттардың түрлері және қолданылуы.

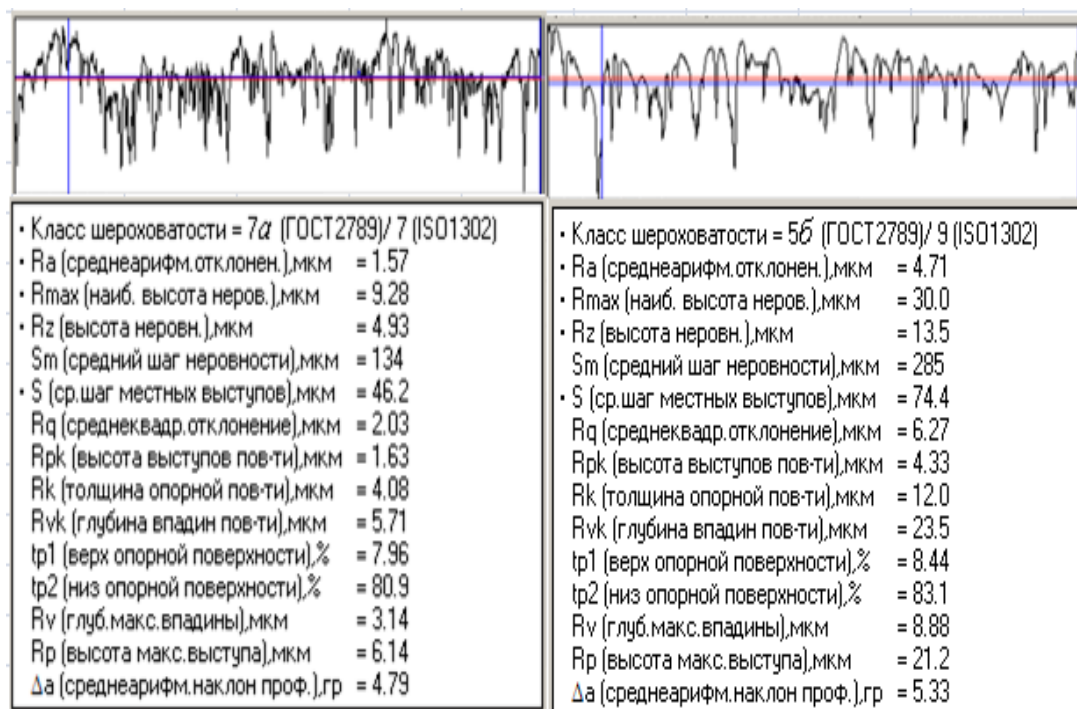
Тік емес бағыттардың түрлері	Схемалық сурет	Түсінік
Паралельді		Сызыққа параллель, сызбада бейнеленген беті, кедір-бұдырлыққа орындалатын талаптар
Перпендикуляр		Сызыққа перпендикуляр, сызбада бейнеленген беті, кедір-бұдырлыққа орындалатын талаптар
Қиылысатын		Екі рет қиылысу бағыттарға көлбеу, сызбада бейнеленген беті, кедір-бұдырлыққа орындалатын талаптар
Еркін		Түрлі бағыттары бойынша липниге қатысты, сызбада бейнеленген беті, кедір-бұдырлыққа орындалатын талаптар

Кедір бұдырлықты бағалау бөлшектерді бақылау және қабылдау кезінде, сондай-ақ зертханалық жағдайларда зерттеулер жүргізу кезінде жүргізіледі. Пайдаланылған бағалау әдістерін тікелей және жанама деп бөлуге болады. Кедір бұдырлықты тікелей бағалау үшін сүңгуір (пішіндеуші және кескіндеуші) және оптикалық (қос және интерферометриялық микроскопия) жабдық пайдаланылады, ал жанама бағалау үшін кедір-бұдырлық стандарттары пайдаланылады. Стационарлық және көшіру

профильдерін өндіру: олар $Ra=0.02-102$ мкм диапазонындағы кедір бұдырлықты өлшеуге мүмкіндік береді. Профильдің рөлі алмас инесінің берілген траектория бойымен бетіне қозғалысына негізделген.

Ауыстырылатын линзалармен 517 дейін үлкейтіңіз. Кедір бұдыр Rz параметрімен анықталады. Бұл әдістің кемшілігі-өлшеу нәтижелерін өлшеу және есептеу қажеттілігі. Бұл әдісті зертханалық зерттеулерде және үлгіні бақылауда қолданыңыз.

Микромер $Rz = 0,1$ диапазонындағы кедір бұдырды өлшеу үшін қолданылады...0,003 мкм. Құрылғының көру аймағында кедергі жолақтары байқалады, сәйкесінше микротраума профиліне қарай қисайған. Бұл қисықтардың биіктігі 492 есе ұлғайған кезде көз микрометрімен өлшенді. Фотосурет 291 есе ұлғайтылды. Құрылғының көру өрісінің шамалы мөлшері оны түсіру кезінде тұрақты ұзындықта ультра дәл беттерде қолдануды шектейді. Ол зертханалық зерттеулер үшін қолданылады. Бетті тексеру кезінде құрылғының оптикалық жүйесі кедергі жолақтарын құрайды. Тегіс емес болғандықтан, олар контурларына сәйкес бүгіледі. Бет бейнесі интерференциялық жолақтармен бірге окулярда байқалады. Құрылғы бетінің өзін емес, оның іздерін қарастырады. Бетінің кедір бұдырлығын контур бойынша емес, аудан бойынша бағалауға мүмкіндік беретін көптеген әдістер бар. Пневматикалық басқару әдісі арқылы түсірілген келесі суретті байқасаныздар болады.



23 –ші сурет бетің кедір–бұдырлығы анықтау

2.8 Үлгіні коррозиялық сынау

Қазіргі уақытта кез-келген металл, оның қорытпалары, металл бұйымдары мен металл конструкцияларын өндіруді елестету мүмкін емес. Бұл қазіргі өндірістегі металдар мен олардың қорытпаларына, металл бұйымдары мен металл конструкцияларына қатаң талаптар қояды.

Металдардың коррозиясы біздің республикамыздың экономикасына үлкен зиян келтірді. Коррозия нәтижесінде металдың жоғалуы коррозиялық өнімдерге жарамсыз қайтымсыз шығындар мен қосымша зиянды шығындар түрінде жиналады.

Пайдалануға берілетін металл қорларының үздіксіз ұлғаюына, магний балқымасының коррозияға төзімділігінің төмендеуіне, сондай-ақ металл конструкцияларын пайдалану жағдайларының күрделенуіне байланысты металл коррозиясы технологиясының жалпы жоғалуының даму тенденциясы жыл сайын артып келеді.

Мұның бәрі коррозия процесін зерттеу және металл коррозиясын жүйелі және тиімді бақылау қажеттілігін көрсетеді. Металдарды коррозиядан қорғау адамзат қоғамында ежелден бері бар. Коррозияның сандық және сапалық көрсеткіштері. Металл коррозиясының зақымдану жылдамдығын өлшеу бірлігі коррозия индексі деп аталады. Көрсеткіштер сапалық және сандық болады. Сапалық көрсеткіштер үшке топқа жіктеледі:

1. Үлгінің сыртқы түрін сурет, сурет немесе қысқаша сипаттама арқылы бақылаңыз және коррозиялық ерітінділердегі өзгерістерді бақылаңыз;

2. Коррозиялық қасиеттердің қалыптасуын микроскопиялық зерттеу, кристалдық коррозияның болуын немесе болмауын бақылау;

3. Коррозияланған металл беттерде катодты және анодты компоненттерді анықтау үшін түсті индикаторларды қолдану.

Сапалық көрсеткіштерге:

1. Металл үлгісінде коррозияға бейімділігі бар коррозия ошағы пайда болатын уақыт;

2. Фокустық Индикатор металл үлгісінде белгілі бір уақытта пайда болатын коррозия ошағының мәні;

3. Белгілі бір уақыт кезеңі ішінде металды коррозияға батыру тереңдігінің көрсеткіші;

4. Коррозия нәтижесінде массаның өзгеру индексі, металл үлгісі сапасының өзгеруі, металл бетінің бірліктерінің уақыт бірліктеріне қатынасы;

5. Көлем көрсеткіші металдың коррозиясы арқылы таралатын газдың көлеміне, металдың беткі аймағына және уақытқа байланысты;

6. Коррозия процесінің тиісті жылдамдығындағы ток тығыздығы;

7. Механикалық көрсеткіш белгілі бір уақыт аралығында коррозиядан металдың механикалық қасиеттерінің өзгеруі;

8. Қарсылықтың өзгеруі белгілі бір уақыт аралығында металл коррозиясының электрлік қасиеттерінің өзгеруі;

9. Белгілі бір уақыт аралығында металл коррозиясының әсерінен радиациялық индикаторлардың оптикалық қасиеттерінің өзгеруі.

Металл коррозиясының біркелкі таралуы және оның жылдамдығы коррозия процесінің көрсеткіші үшін маңызды емес, бұл қолданылатын зерттеу әдісіне, өлшеу құрылғысына және өлшеу дәлдігіне байланысты. Егер коррозияның жергілікті диффузиясы біркелкі болмаса, таңдалған көрсеткіштің мәні жоғары болады. Коррозияның сандық мөлшері пештің мөлшері мен тереңдігімен анықталады.

Коррозияны сынауға арналған үлгілердің сыртқы сынақтары және коррозиялық ортадағы өзгерістерді бағалау сапалы белгі болып табылады. Үлгінің сыртқы пішінінің өзгеруін көзбен немесе микроскоптың көмегімен бағалауға болады-металл беті топография мен оның көлеңкесінің өзгеруімен анықталады. Коррозиялық ортаның түсі мен коррозияның ерімейтін өнімдерінің сыртқы түрімен сипатталатын өзгеруі кезінде кездеседі [30].

Сапалық әдістің ерекшелігі индикаторлық әдіс агрессивті ортаға әдейі қосылған реактивтің әсеріне негізделген материалдың еруін тексереді. Тәжірибелерде бұл реактив бұл көбінесе ферромагнетизм мен калий феррицианидін сыналатын болаттарының қоспасы, нәтижесінде турбулентті көк пайда болады, ол темір иондары бар көк өріс. Алюминий мен коррозиялық қорытпаларды зерттеу кезінде сапалы көрсеткіші. Ол аймақтың балқу аймағын қызыл түске бояйды.

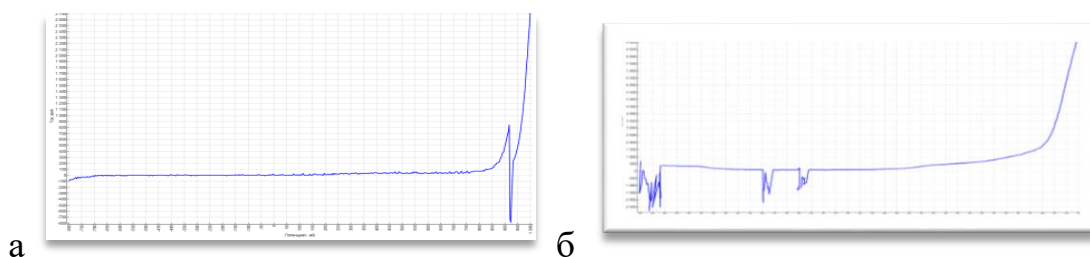
Коррозиялық материалдардың беріктігін бағалаудың сандық критерийлері сынақ әдісінің сипаттамасымен анықталады-олар әдетте ток пен потенциал, коррозиялық жарықтардың тереңдігі, металл массасының жоғалуы, коррозияның ену тереңдігі, сондай-ақ металдың зақымдану мөлшері мен орны сияқты физикалық және физика-химиялық көрсеткіштерді білдіреді. Металлдың коррозияға төзімділігінің ең көп қолданылатын сапалы бөлігі-бұл бір бөліктің жылдамдығы (мм/жыл). Болат үшін коррозияға төзімділіктің он балдық шкаласы өңделеді және әр беріктік нүктесіне сәйкес белгілі бір жылдамдық металдың жұқаруына сәйкес келеді.

Қазіргі уақытта барлық қолданыстағы сынақ әдістерін табиғи, далалық және зертханалық деп бөлуге болады. Бірінші жағдайда, олар құрылғы компоненттерінің қызықты дизайнымен, куәгер айғақтарының сипатын бағалаумен, ал екінші жағдайда құрылғының (немесе дизайнның) прототипін сынаумен ерекшеленеді. Тесттердің екі түрі де жоғары нәтиже беретініне сенім аз. Бұл далалық сынақтарда модельдік орта мен металл құрылымдық элементтердің әсері әрдайым толық сәйкес келмейтіндігіне байланысты. Мысалы, коррозияны сынау ол арқылы өтетін сұйықтық ағыны

жағдайында жүргізілген кезде, қозғалыс кезінде үлгі оның бетіне жақын орналасқан құрылғы элементінің бетінен айтарлықтай бөлінеді.

Зертханалық сынақтар нәтижелерінің дұрыстығы модельдеу критерийлерін таңдауға және нақты пайдалану жағдайларында тиісті үлгінің коррозияға төзімділігін анықтаудың дұрыстығына байланысты болады. Зертханалық зерттеу әдістері әдетте ережелерге сәйкес жеделдетіледі (кейбір жағдайларда жылдам әдіс қолданылады). Үкітмалдылықты бағалау үшін бірнеше рет қайталау мүмкіндігі, сынақ жағдайларын қатаң бақылау мүмкіндігі зертханалық зерттеулердің жылдам әдістерінің артықшылығы: сынақ уақытының күрт қысқаруы (минуттар, сағаттар, жылдам әдістер).

Титанның маңызды кемшілігі оның пирофосфат реакциясына бейімділігі болып табылады. Белгілі бір жағдайларда ол тұтануы мүмкін және тіпті жарылыс тудыруы мүмкін. Мысалы, концентрацияланған азот қышқылында 6% - дан астам азот диоксиді болған кезде жарылыс болады. Бұл ортада жоғары дамыған белсенді беттері бар ұсақ металл бөлшектері пайда болатын кристалды коррозия бар екендігі түсіндірілді. Күкірт қышқылының рөлі. ВТ10 маркалы титан 20° дейінгі температурада, 45° 5-10% күкірт қышқылында тек 0,5% дейін, 25° 100% күкірт қышқылында, титан коррозиясының жылдамдығы жылына 0,8 мм [31].



24 –ші сурет материалды коррозиялық сынау

а) сынауға дингі үлгі, б) өндеуден кінгі үлгі

Біз азот қышқылының 4% ерітіндісін қолданамыз және 20°-40° температурада байқаймыз. ВТ10 моделі жылдық коррозия жылдамдығына жылына шамамен 0,09 мм ие,ал беткі қабаты бар модель қалайыға төзімділігіне, сондай-ақ оның кермет екендігіне байланысты коррозияға ұшырамайды. 24- ші суретте көруге болады.

3 ТӘЖІРИБЕНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

3.1 Механохимиялық әдіспен алынған нитридті жабындардың технологиялық режимі

Қазіргі уақытта МҚ әдісімен қорғаныс металл жабынын жағу тәсіліне инновациялық патент алынды [32]. Белгілі шатыр материалдарының физикалық жабу әдістерімен сәйкес келмеуіне байланысты материал түріне көптеген шектеулер бар. Мысалы, төмен балқу температурасы бар материалдың бетіне жоғары балқу температурасы бар жабынды қолдану өте қиын. Композициялық градиент жабынын алу өте қиын, ал Карбид жабыны толтырғыш ретінде қолданылады. Қалыңдығы бойынша бөлінген кремний, оксид немесе нитрид фазалары. Сонымен қатар, химиялық немесе физикалық әдістермен алынған жабын, әдетте, бетінде нашар жабынға ие. Химиялық немесе физикалық әдістермен қалың жабынды алу үшін ұзақ уақыт тұру керек. Басқа кемшіліктер бетті алдын-ала өңдеу қажеттілігімен байланысты. Белгілі бір температура қымбат және энергияны үнемдейтін лазерлік доғалық немесе вакуумдық Жабдықты пайдалануды талап етеді, ол өшірілген кезде газ атмосферасының қысымы мен құрамын бақылайды.

Металдар мен қорытпалардың әртүрлі жабындарын алу үшін МҚ әдісін қолданатын басқа әдістермен салыстырғанда бірқатар артықшылықтар бар. Ұсынылған әдістің артықшылықтары, ең алдымен, бұрын белгілі әдістермен салыстырғанда қолдану техникасының қарапайымдылығын қамтиды және жабын мен субстрат материалын таңдауда ешқандай шектеулер жоқ. МҚ әдісі жабынды қолданар алдында арнайы бетон дайындауды қажет етпейді. Тұндыру процесінде ұнтақтың құрамы өзгерген кезде, бүкіл металл немесе керамикалық қаптама, сондай-ақ металл оксидтерінен, нитридтерден, карбидтерден және силицидтерден тұратын композициялық градиент жабыны пайда болды [33].

Осылайша, МҚ әдісі металл бетіне металл, керамикалық немесе композициялық жабынды қолданудың қарапайым, үнемді әдісі болып табылады. Ұсынылған тәсілмен алынған композициялық жабындар әртүрлі салаларда олардың бөлшектерін нығайту және коррозияға төзімділігін арттыру үшін қолданыла алады.

Мен жүргізген эксперименттік жұмыста не көрдім. Минималды ені 20 минут үлгінің бетіне жабу үшін жеткілікті. Алайда, түссізденуге бейім, жабын мен үлгі арасындағы байланыс өте нашар болады. Осылайша, тұрақты уақытты тұрақтандыруға және нәтижеге қол жеткізуге бір сағаттан астам уақыт кетеді. Жиілікке келетін болсақ, мұнда жиіліктің өзгеруі өте маңызды рөл атқарады. Мен жиілік неғұрлым жоғары болса, жабын соғұрлым күшті болатынын байқадым. Бірақ біздің тарапымыздан жиілік теңгерімсіздігі

пропорционалды. Бөтелкеге келетін болсақ, ол өте жоғары өнімділікке ие. Себебі оның мөлшері мен құрылымына байланысты доп соқтығысады. Сондықтан мен Колем жағында 80 мл бөтелкені қолдандым. Ара қатынасы 1:60, доптың диаметрі 6,5 мм, уақыт 40 минут, жиілік 50 Гц, доптың салмағы 390 г, ұнтақтың салмағы 6,5 грам сонымен қатар, эксперименттік жұмыс осы жұмыстағы жылу, уақыт, жиілік, көлем, үлгілер тобын көрсетеді.

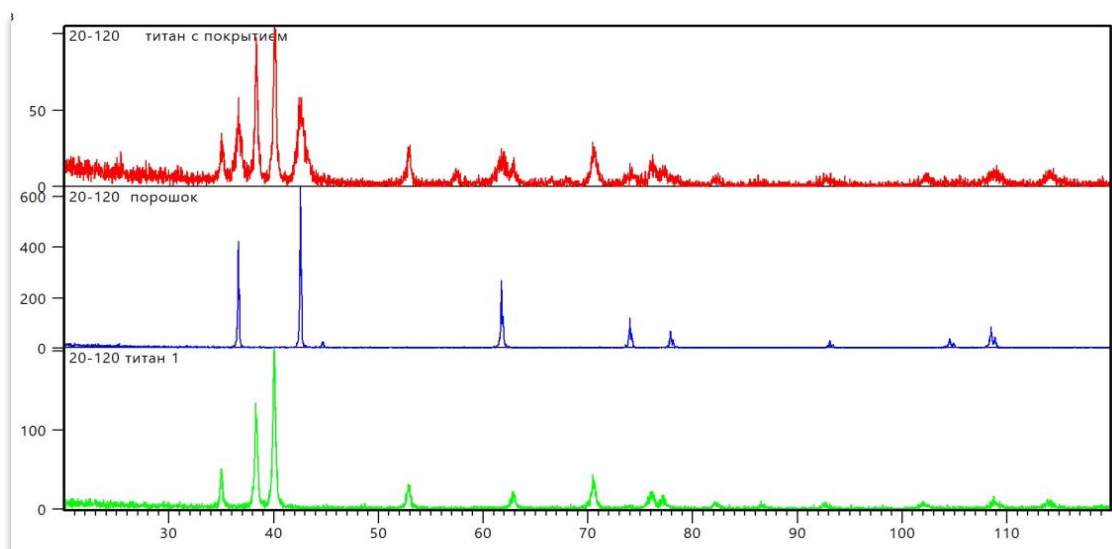
3.2 Нитридті жабындардың фазалық құрамы мен микроқұрылымын зерттеу

МҚ процесі қарапайым атомдардың қысқа қашықтыққа таралуы мүмкіндігімен бір металды басқа металл матрицасына тарату ретінде қарастырылады. МҚ ерекшелігі қатты фазадағы компоненттер атомдарының диффузия коэффициентінің мәні өте жоғары. Әдеттегіден айырмашылығы компоненттің концентрация градиентімен анықталатын диффузияның бұл түрі "деформацияланған атомдардың қоспасы немесе баллистикалық диффузия" деп аталады [34]. Бұл жұмыста қатты ерітіндінің диффузиясы мен аморфты қорытпаның пайда болуының тиімді коэффициенті бағаланады. Барлық жағдайларда диффузия коэффициентінің мәні қалыпты жағдайда белгілі мәннен бірнеше есе көп. Мұндай жоғары диффузия коэффициенті механикалық деформация әсерінен атомдардың енуімен түсіндіріледі. Өндеу кезінде жеделдетілген диффузияны осы модельге сәйкес түсіндіруге болады. орналастырылған ядролар бойымен атомдардың кейінгі диффузиясы. Бұл модельде релаксация процесінің айқын МҚ-дегі маңызды рөлі айқын материалға тиген кезде дислокацияның қатты өсуі байқалады, ал соққыдан кейін атомдардың қатты диффузиясы пайда болады.

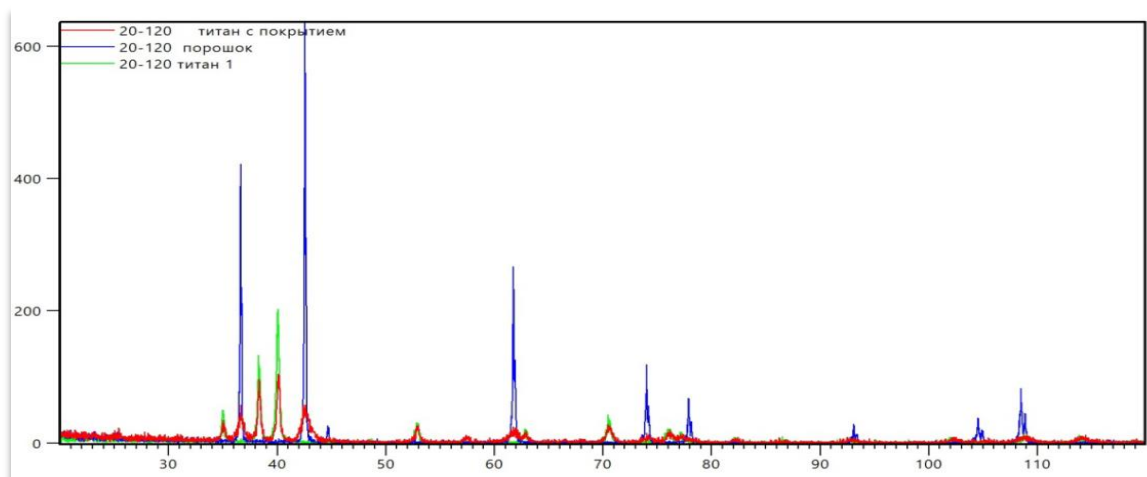
[35,36] автордың жұмысында деформациялық араласу, астық шекаралары бойындағы заттың ағымы және термодинамикалық өзгерістер салдарынан МҚ фазасының пайда болу механизмі сипатталған. Гибридті деформация моделінде периодты деформация кезінде пайда болатын әсер ету энергиясының көп бөлігі материал арқылы өтеді, содан кейін қысу импульстары мен қалдық кернеулердің релаксациясы ауысады. Құрылымдық ақаулардың көші-қоны Атом құрылымдарының қозғалысына әкеледі [37]. Деформацияның әсерінен бір түрдің атомдары басқа түрдің атомдарының торына енеді деп болжанады. Атом интерфазалық шекарадан өткен кезде оның энергиясы азаяды және оның торына енгізілген энергия артады. Интерфазалық шекарадан өту үшін атом энергия тосқауылымен, белсенді заттың табиғатымен анықталады. "Астық фазасының" қалыптасу моделі механикалық активтену кезінде өлшеу аралық шекарада орнатылатындығын сипаттайды. МҚ процесінде пайда болу және өсу кезеңдері.

Механикалық араластыру температурасында тез диффузия жарықтың диффузия арнасын астықтың орналасуы мен шекарасы бойымен қанықтыра

алады, ал астық көлемінің қанықтылығы алынып тасталады. Осылайша, механикалық допингтің негізгі процесі диффузия емес, "ығысумен араластыру" ретінде анықталады. Сонымен қатар, барлық екілік жүйелерде механикалық допинг екі таза металдың біртекті қатты ерітіндісін алуға әкелуі керек. Бұл жүйе үшін талдау фазалық тепе-теңдік диаграммасымен емес, ығысу компонентінің деформация коэффициентімен анықталады. Егер араласпаудың себебі компоненттердің қаттылығы әр түрлі болса, онда алдын-ала жұмсақ допинг арқылы қаттылықты теңестіруге тырысу керек.



25 – ші сурет Ті бетіне Ті нитрид ұнтағын жаққанан кездегі дифрактаграмасы



26 – шы сурет Ті бетіне Ті нитридің ұнтағын жаққанан кейінгі дифрактаграмасы

26-суретте байқағандай эксперимент өте сәтті болды. Біз титан нитридін ұнтағының жабынын титан бетінде байқай аласыз. Кейбір жұмыстарда МҚ фазасының түзілу механизмі қолданылады, ол

деформацияның қозуынан, заттың астық шекаралары бойымен ағып кетуінен және термодинамикалық факторлардан (байланыс арқылы шекараның балқу энергиясы) туындайды. МҚ-да фазалық түзудің балама механизмінде "түйіршікті фаза" моделі ерекшеленеді. Модель фазалардың қалыптасуын жақсы түсіндіреді. МҚ фазасының диффузиялық түзілу механизмі әлі де даулы аспект болып қала береді. Зерттеушілер өңделген материалдардың МҚ-да тез таралу себептері айқын емес екенін атап өтті.

3.3 Жабындардың механика–трибологиялық қасиеттерін талдау

Қазіргі заманғы машина жасауда бөлшектерді сәндірудің прогрессивті және тиімді әдістері кеңінен қолданылады: термомеханикалық өңдеу, беттік пластикалық деформация және т. б. беттік пластикалық деформацияның мәні деформациялық агенттің салыстырмалы қозғалысы жағдайында өңделетін материалдың бетіне әсер етеді [40]. Бұл жұмыста шарлармен (ШХ15) соққылау тәсілімен ИВ20 вибрациялық қондырғысында ВТ10 титан беті өңделді. Кристалл құрылымындағы ақаулар санының көбеюіне байланысты (дислокация, олқылықтар, интерстициальды атомдар) доптың қатты деформациялық әсері өңделетін материалдың бетін нығайтуға ықпал ететін жергілікті біркелкі емес жағдайлардың пайда болуымен бірге жүреді.

Зерттеу үлгісі ретінде техникалық таза титан ВТ10 таңдалды. Үлгілердің химиялық құрамы төменде 5-кестеде келтірілген.

5 – кесте үлгілердің химиялық құрамы (салмағы.%)

Титан ВТ1-0							
Fe	C	Si	N	Ti	O	H	өзге
до 0,28	до 0,08	до 0,12	до 0,07	99,5- 99,8	до 0,3	до 0,02	қалғаны 0,3

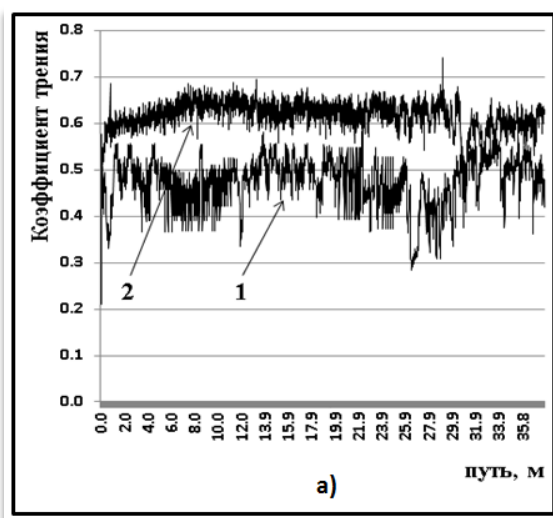
Зерттеу үшін болат пен титаннан жасалған 70×70×3 мм өлшемді пластинаның үлгісі дайындалды. Кесу кезінде үлгінің беті үлгінің құрылымы мен механикалық қасиеттерін өзгерте алады. Сондықтан келесі қадам-кесу кезінде модификацияланған қабатты алу үшін механикалық тегістеу. ИВ20 бастапқы төсемді өңдеу бірдей параметрлермен жүзеге асырылады: өңдеу уақыты 1 сағат, камераны толтыру дәрежесі 80%, доптың диаметрі 6,7 мм, тербеліс жиілігі 55 Гц. Бұл жұмыста тығыздау процесінің тиімділігін арттыру үшін діріл камерасының үстіне болат және титан кірістері орнатылды.

Үйкеліс үйкелуіне трибологиялық сынақтар "шар–диск" стандартты әдістемесін (ASTMG133–95 және ASTMG99 халықаралық стандарттары) пайдалана отырып, TNT-S-AX0000 сонымен қатар үйкеліс өлшегіштерінде жоғары температурада орындалады. Сертификатталған материалдан

жасалған диаметрі 3 мм шар-vk6m (вольфрам карбиді) үстел үстелі ретінде қолданылады. Модификацияланған қабаттың трибологиялық сипаттамалары 5N жүктеме жағдайындағы үйкеліс коэффициентімен 2, сызықтық жылдамдығымен, тозу қисығының радиусы 2 мм және үйкеліс траекториясы 37,8 м сипатталды.

Қорыта айтқанда және оларды талқылауға салсақ. [41,42] реакция қоспасының компоненттерінің механикалық қорытпа жүзеге асырылатын атмосферамен өзара әрекеттесуін зерттеді. Нәтижелер реактивті реагент ретінде оттегі негізінен астық шекарасында сіңіп, оксид қосылыстарының пайда болуына ықпал ететіндігін көрсетеді. МҚ әдісінің бұл кемшілігі оның практикалық қолданылуын шектейді.

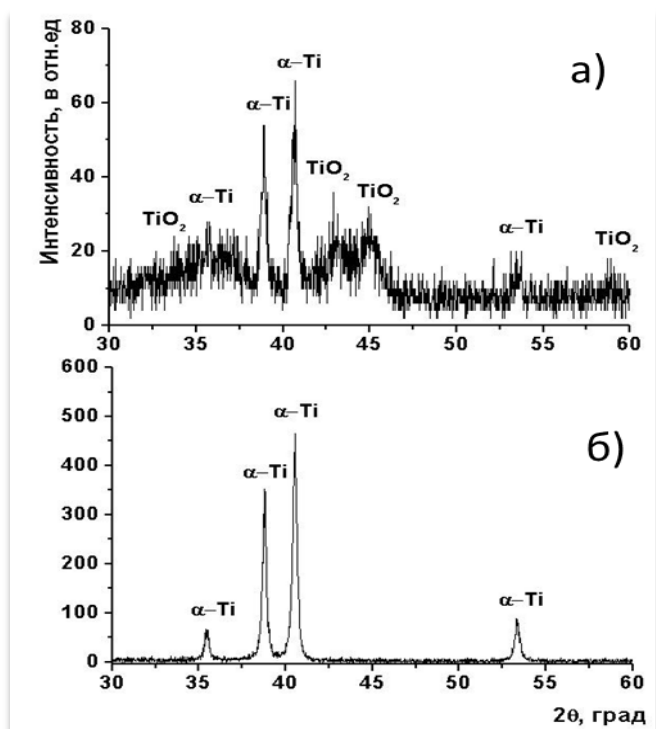
Қалыпты қысым кезінде темір екі модификацияда бар: α -Fe (ОЦК торы бар) және γ -Fe (ГЦК торы бар). Темір – никель болаттарында никель құрамының 10% артуымен деформация кезінде $\gamma \rightarrow \alpha$ -мартенситті түрлену жүреді [43, 44]. Қатты деформациялық әсер ету аймағында түзілетін жаңа мартенситті фазалар (α -фаза) анағұрлым жоғары беріктікке және үйкеліс коэффициентіне ие. Метастабильді аустенитті болаттардың тозуға төзімділігіне деформацияның α -мартенситінің оң әсері алғаш рет жұмыста диск–саусақ сызбасы бойынша сырғудың құрғақ үйкелісі кезінде көрсетілген [45]. Осылайша, Ti тозуға төзімділігінің жоғарылауы шарлар соғылғаннан кейін үлгінің бетінде деформацияның әсерінен мартенситінің пайда болуымен байланысты. Титан үлгісінің қабатының рентгендік-фазалық талдауының деректері деформация әсерінен α -мартенситтің түзілуін растайды, 28а суреттінен байқасақ болады



27 – ші сурет үлгілерді қаттылыққа сынау нәтижелері: а) титан BT10

Титан үлгілерінің трибологиялық сынақтарының нәтижелері 27а суретте көрсетілгендей әртүрлі мағынаға ие. МҚ-дан кейін үлгінің беткі қабатының тозуға төзімділігі бастапқы үлгіге қарағанда төмендеді. Бастапқы

үлгідегі мәндердің таралуы титан қорытпасының тозу сипатына байланысты. Үйкеліс кезінде, тіпті төмен жүктеме кезінде де титан қорытпалары байланыстырушы материалмен қақтығысқа бейім. Мақалада ірі түйіршікті УК-құрылымына өту кезінде титанның тозуға төзімділігінің төмендеуі анықталды. МҚ үлгісінің үйкеліс коэффициентінің жоғарылауы үлгінің түйіршікті құрылымының ұсақталуымен байланысты деп болжауға болады. Алайда [46, 47] жұмыста TiO_2 негізіндегі оксидті қосылыс материалдардың тозуға төзімділігі мен беріктігін арттырады, 27а суретте көрсетілдеді. Алайда, титан қорытпаларының жоғары кернеуінен кейін, осы қорытпалардың беткі қатаюын қолдану одан әрі зерттеуді қажет ететін көптеген сипаттамаларға ие.



28 – ші сурет Ті үлгісінің қабатының рентгендік–фазалық талқылау деректері а) кейінгі; б) дейінгі;

МҚ-дан кейінгі Ті үлгісінің дифракциялық үлгісі дифракциялық сызығының қарқындылығы төмендейтінін және диффузды фон пайда болатындығын көрсетеді. МҚ-дан кейін үлгінің дифракциялық сызығындағы әртүрлі өзгерістер ақаулы құрылымдық жағдайлардың болуын көрсетеді. Затқа қатты деформациялық әсер, әсіресе төмен температурада, энергияның үлкен берілуімен байланысты арнайы Жергілікті біркелкі емес күйлердің пайда болуымен бірге жүреді, ал кіші субмикронды және наноөлшемді құрылым элементтерінде бұл күй жоғары жергілікті ішкі кернеудің көзі болып табылады, өңделетін материал компоненттерінің реактивтілігінің

жоғарылау құбылысында маңызды рөл атқарады. жаңа қосылыстар түзіп, макроскопиялық және микроскопиялық деңгейде Материалдарды ұнтақтауға ықпал етеді.

ҚОРТЫНДЫ

Бұл жұмыста термиялық өңдеуден алынған МҚ әдісімен алынған композициялық жабынның құрылымы мен фазалық өзгерістері эксперименталды түрде зерттелді. Диплом нәтижелері бойынша келесі қорытынды жасауға болады:

TiN ұнтағы шардың әсер ету энергиясын қолдана отырып, ұнтақты материалдарды механикалық балқыту арқылы композициялық жабынды алу әдісі жасалды. Қалайы жүйесіне негізделген композициялық жабынды қалыптастыру механизмі механикалық суық дәнекерлеуге қатысты орнатылады, өйткені ұнтақ бөлшектері доптың әсерінен титан бетіне деформацияланып, тығыздалады.

Өңдеуге дейін және одан кейін Ti жабынының құрылымын қалыптастыру кинетикасы үлгі бетінің кедір-бұдырлығын өлшеу үшін модельдік 130 префиллометрін, "микрон-трибо" және үйкеліс машинасын, микроқаттылықты анықтау әдісін (PMT-3 құралы) және XPERTpro рентгендік фазалық дифрактометрін қолдана отырып зерттелді. Соққының әсерінен қалайы бөлшектері пластикалық бетке жағылады, нәтижесінде жабын пайда болады.

Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, қалайы механикалық балқыту әдісі композициялық жабынның металл бетіне қолданудың қарапайым, үнемді әдісі ретінде ұсынылады деп болжауға болады. Болашақта жабынның беріктігін арттыру үшін оксидті керамика негізінде жабылған керамикалық жабынды механикалық тұндыру технологиясын жетілдірген жөн. Бөлімнің шекарасында химиялық байланыстарды құруда диффузия басым рөл атқарады, ол өте үлкен масса саңылауымен (деформация кезінде пайда болады), тегістелген өзек бойымен және астық шекарасы бойымен зат ағынымен үлкен энергия сыйымдылығын қажет ететін үлкен ығысумен яғни, жұмыс сұйықтығынан өңделетін материалға берілетін энергияның көп мөлшері жеткіліксіз екені анықталды. Өңдеу кезінде IB20 зертханалық діріл қондырғысының қабырғаларында осындай түйіндердің техникалық сипаттамаларын ескере отырып қол жеткізуге болады. Қажетті байланыс күші мен жабын қалыңдығына қол жеткізіңіз келесі толықтырулар қарастырдық:

- жүйеде диффузия процесін жеделдету үшін термиялық өңдеуден кейінгі жабын;
- металл беттерін керамикалық композициялық жабындардың адгезиясы мен үйлесімділігін арттыру үшін жоғары қаттылықпен наноқұрылымды күйді алу үшін күшейтілген пластикалық деформация әдісімен алдын-ала өңдеу;
- механикалық өңдеу арқылы оксидті керамика негізінде керамикалық жабындарды жағу үшін металл беттердің бастапқы тотығуы.

Дипломға қойылған барлық міндеттер шешілді. Алынған нәтижелер мен тұжырымдар конденсацияланған күй физикасы мен металдар мен қорытпалардың фазалық ауысуының термодинамикасының негізгі ережелеріне қайшы келмейді. Ұсынылған тәсілмен алынған композициялық жабындар бөлшектерді нығайту, олардың коррозияға төзімділігі мен тозуға төзімділігін арттыру үшін әртүрлі салаларда қолданыла алады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. В.В. Болдырев. Механохимия и механическая активация твердых веществ. // Успехи химии 2006, №75 (3). С. 203–211.
2. Е.Г. Аввакумов Механические методы активации химических процессов. 2–е изд., Новосибирск: Наука, 1986, 297 с.
3. Л.Ю. Пустов. Автореф. канд. дис.: Особенности структуры и фазовых превращений в сплавах Fe–Mn и Fe–Ni, приготовленных механосплавлением. Москва 2004 г.
4. . Е.В. Шелехов, Т.А. Свиридова. Компьютерное моделирование процесса механохимического сплавления в шаровых мельницах. Кинетика движения мелющих тел и расчет температуры мелющей среды (в двух номерах). // Металловедение. 2008. №2. С. 10–22 и // Металловедение. 2008 №3. С. 11-24.
5. А.с. №61195 Республики Казахстан. Механохимический способ получения монолитных, композиционных и градиентных покрытий при помощи энергии ударов шаров. / Ж.Б. Сагдолдина (Республика Казахстан) №215907; Заявлено 17.09.2007; Оpubл. 14.08.2009, бюл. №8 // Инновационный патент. 2009 №8.
6. Бутягин П.Ю. Проблемы и перспективы развития механохимии // Успехи химии. 1994. Т.63. №12.– С. 1031–1043.
7. В.В. Болдырев. Механохимия и механическая активация твердых веществ. // Успехи химии 2006, №75 (3). С. 203–211.
8. Механохимический способ получения монолитных, композиционных и градиентных покрытий при помощи энергии ударов шаров / Ж. Б Сагдолдина, С. Е Романьков, Е. В. Вдовиченко, А. А. Мамаева, С. Д. Калошкин.
9. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2008. – 694с. ISBN 978–5–7890–0472–2.
10. Аввакумов Г. Е. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. Новосибирск: ИХТТМ СО РАН, 2009. – 155 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-9747-0161-0
11. Патент 105199 РФ, МПК В02С17/06. Вибровращательная мельница / Гаврунов А.Ю., Богданов В.С., заяв. и патентообл. Белг. госуд. технол. Ун–т им. В.Г. Шухова – №2010152390/21; заявл. 21.10.2010; опубл. 10.06.2011 Бюл. №16 – 4 с.
12. Е.Г. Аввакумов Механические методы активации химических процессов. 2–е изд., –Новосибирск: Наука, 1986, 258 с.
13. Инновационный пат. 21590 РК, Механохимический способ получения монолитных, композиционных и градиентных покрытий при помощи энергии ударов шаров. / С.Е. Романьков, В.Е. Вдовиченко, К.Е. Есимбекова, А.А. Мамаева, Ж.Б. Сагдолдина, С.Д. Калошкин, Л.Ю. Пустов,

Е.В. Каевицер; заявитель и патентообладатель ТОО Физико–технический институт; заявл. 17.09.07; опубл. 14.08.09, Бюл. №8.– 4 с;

14. В.В. Болдырев, Механохимия и механическая активация твердых веществ, //Успехи химии. – 2006. – Т. 75 (3). – С. 203 – 211.

15. Gaffet E., Louison C., Harmelin M., Faudot F., Metastable phase transformations induced by ball-milling in the Cu-W system // Materials Science and Engineering: A. – 1991. –Vol.134. – P. 1380 – 1384.

16. Srinivasan S., Desch P. B., Schwarz R. B., Metastable phases in the Al3X (X = Ti, Zr, and Hf) intermetallic system // Scripta Metallurgica et materialia. – 1991. –Vol. 25. – P.2513 – 2516.

17. Suryanarayana C., Ivanov E., Boldyrev V.V., The science and technology of mechanical alloying // Materials Science and Engineering: A. – 2001. – Vol.304 – 306. – P.151 – 158.

18. Joyita De, Umarji A.M., Chattopadhyay K., Origin of contamination and role of mechanochemistry during mechanical alloying: the case of Ag–Te alloys // Materials Science and Engineering: A. – 2007. – Vol.449 – 451. – P.1062 – 1066.

19. Коньгин Г.Н., Stevulova N., Дорофеев Г.А., Елсуков Е.П., Влияние износа измельчающих тел на результаты механического сплавления смесей порошков Fe и Si(C) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т.10. – С.119 – 126.

20. Григорьева Т.Ф. Баринова А.П, Ляхов Н.З., Механохимический синтез интерметаллических соединений // Успехи химии. – 2001. – Т.70(1). – С.52 – 71.

21. Koch C.C., Intermetallic matrix composites prepared by mechanical alloyinga review // Materials Science and Engineering: A. – 1998. – Vol.244. – P.39 – 48

23. Romankov S., Park Y.C., Shchetinin I.V., YoonJ.M., Atomic-scale intermixing, amorphization and microstructural development in a multicomponent system subjected to surface severe plastic deformation // ActaMaterialia. –2013. – Vol.61. – P.1254 – 1265.

26. Штремель М.А., Об участии диффузии в процессах механического легирования // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. –№8. – С.10 – 12.

27. Ma E., He J.-H., Schilling P. J., Mechanical alloying of immiscible elements: Ag-Fe contrasted with Cu-Fe // Phys. Rev. B. – 1997. – Vol.55(9). – P.5542 – 5545.

28. Angiolini M., Derue A., Malizia F. et al. Structure refinement of Ag–Fe blends during high energy ball milling // Mater. Sci. Forum. – 1998. – Vol.269 – 272. – P.397 – 402.

29.<https://vostok-7.ru/upload/iblock/884>

30. Элементарный учебник физики. – 13-е изд. – М.: Физматлит, 2003. – Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика.
31. Защита от коррозии в химико–фармацевтической промышленности / А. Г. Натрадзе, Г. Я. Лозовик, Ю. М. Розанова.
32. Механохимический способ получения монокристаллических, композиционных и градиентных покрытий при помощи энергии ударов шаров. Инновационный патент № 21590 Республика Казахстан / Романьков С.Е., Вдовиченко В.Е., Есимоекова К.Е., Мамаева А.А., Сагдолдина Ж.В., Калошкин С.Д., Пустов Л.К. Каевицер Е.В.; заявитель и патентообладатель ТОО Физико – технический институт; заявл. 17.09.07; опубл. 14.08.09. Бюл. №8.– 2 с;
33. Юм–Розери В., Введение в физическое материаловедение.–М.: Металлургия, 1965.– 204с.
34. В.В. Болдырев. Механохимия и механическая активация твердых веществ. // Успехи химии 2006, №75 (3). С. 203-211.
35. Л.Ю. Пустов. Автореф. канд. дис.: Особенности структуры и фазовых превращений в сплавах Fe-Mn и Fe-Ni, приготовленных механоносплавлением. Москва 2004 г.
36. Е.В. Каевицер. Автореф. канд. дис.: Структурные и фазовые превращения при механохимическом синтезе интерметаллидных покрытий. Москва 2010 г.
37. П.Ю. Бутягин «Проблемы и перспективы развития механохимии» // Успехи химии 1994. Т.63. №12. С. 1031–1043.
38. С.Д. Колошкин Автореф. докт. дис.: Термодинамика и кинетика превращений неравновесных металлических материалов с аморфной и нанокристаллической структурой. Москва, 1998
39. О.В. Арестов Автореф. канд. дис.: Механохимический синтез металлоподобных тугоплавких соединений в многокомпонентных системах Владивосток, 2002 г.
40. Ю.Д. Третьяков Твердофазные реакции. – М.: Химия, 1978. – 360 с.
41. Shaikh M.A., Iqbal M., Akhter J.I., Ahmad M., Zaman Q., Akhtar M., Moughal M.J., Ahmed Z., Farooqu M., Alloying of immiscible Ge with Al by ball milling // Materials Letters. – 2003. –Vol.57. – P. 3681 – 3685.
42. Колошкин С.Д. Термодинамика и кинетика превращений неравновесных металлических материалов с аморфной и нанокристаллической структурой: дис... док. ф.–м. наук: 01.04.07. – М., 1998. – 311 с.
43. В.В. Болдырев, Механохимия и механическая активация твердых веществ, // Успехи химии. –2006. – Т. 75 (3). – С. 203 – 211.
44. Кляровского В.М., Молчанова В.И., Механохимические явления при сверхтонком измельчении. – Новосибирск: Наука, 1971. – 175 с.

45. Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Г., Серб В.И., Фрейдин Б.М., Механическое легирование. – М.: Наука, 2005. – 213 с.
46. Боуден Ф., Иоффе А., Быстрые реакции в твердых веществах. – М.: ИЛ, 1962. – 243 с.
47. Болдырев В.В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ. – Новосибирск: Наука, 1983. – 64 с.