

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы  
кафедрасы

Кенесбеков Ернур Ерланұлы

«Жоғары жиілікті плазмамен ұнтақты сфероидизациялау үшін арналған  
жабдықты зерттеу»

Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B071200 – Машинажасау

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы  
кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф. қауым. профессоры

Арымбеков Б.С.

2019 ж.



Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Жоғары жиілікті плазмамен ұнтақты сфероидизациялау үшін арналған жабдықты зерттеу»

5B071200 – Машинажасау

Орындаған

Кенесбеков Е.Е.

Пікір беруші

PhD д-ф ҚазҰАУ

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

Удербоева А.Е.

(қолы)

«24» 04 2019ж.



Ғылыми жетекші

PhD д-ф. қауым. профессоры

Арымбеков Б.С.

«24» 04 2019 ж.



Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

«Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы»  
кафедрасы

5B071200 – Машинажасау



БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD профессоры

Арымбеков Б.С.

2018 ж.

Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА

Білім алушы *Кенесбеков Ернур Ерланұлы*

Тақырыбы «Жоғары жиілікті плазмамен ұнтақты сфероидизациялау үшін арналған жабдықты зерттеу»

Университет ректорының «06» қараша 2018 ж. №1252-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «29» сәуір 2019 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берілістері Жоғары жиілікті плазмамен ұнтақты сфероидизациялау үшін арналған жабдықты зерттеу

Есеп-түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтардың тізімі мен қысқаша диплом жобасының мазмұны:

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) ұнтақ және олардың қасиеттері;

б) арнайы бөлім.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

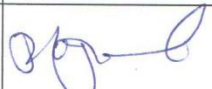
Сызбалық материалдар 2 плакаттармен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 11 атау

Дипломдық жобаны дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. 3D баспасында қолданылатын аддитивті технологиялар және материалдар.	08.02.19-09.03.19	
Жоғары жиілікті плазманы қолдана отырып атомизация түрлері.	09.03.19-24.03.19	
Плазмотрондардың классификациясы.	24.03.19-02.04.19	

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Карпеков Р.К., лектор	26.04.2019	

Ғылыми жетекші \_\_\_\_\_  Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы \_\_\_\_\_  Кенесбеков Е.Е.

Күні \_\_\_\_\_ «26» \_\_\_\_\_ 04 \_\_\_\_\_ 2019 ж.

## АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте рассмотрены перспективные направления развития порошковой металлургии, области применения порошковых и композиционных материалов и выделены основные проблемы. Среди них: высокая стоимость порошковых материалов, ограничивающая их широкое применение.

Для АМ-машин предусматривается технология производства металлических порошков атомным газом. Проводятся эксперименты атомирания. Объясняется принцип действия атомайзера. При проектировании технологического процесса атомайзера выполняется нормирование технологического процесса, определяется трудоемкость изготовления порошка. Выполнены различные работы по схеме плазмотронов и принципам работы. Разъяснен принцип действия плазмотрона. При проектировании технологического процесса плазмотрона выполняется нормирование технологического процесса, определяется трудоемкость изготовления порошка.

В проекте проведен анализ наиболее распространенных методов получения порошка диспергированием расплавов и определены возможности каждого из них для обеспечения современных требований к качеству порошка (дисперсности, однородности как химического, так и гранулометрического состава, формы частиц и т.д.) при достижении желаемой производительности и минимальных энергозатрат.

## **АНДАТПА**

Дипломдық жобада ұнтақты металлургияның даму жаңа бағыттары, ұнтақты және композициялық материалдар қолдану қаралыстырылып және негізгі мәселелері бөлінген. Олардың ішінде: жоғары құны, ұнтақ материалдарды кеңінен қолдануды шектейтін мәселелер қарастылды.

АМ-машиналар үшін металдан жасалған ұнтақтарды газды атомдаумен өндіру технологиясы қарастырылады. Атомдау эксперименттері жасалынады. Атомайзердің жұмыс істеу принципі түсіндіріледі. Атомайзердің технологиялық процессін жобалаудың жолында технологиялық процессті нормалау орындалады, ұнтақ жасалуының еңбексыйымдылығы анықталынады. Плазмотрон схемасымен және жұмыс істеу принциптерімен түрлі жұмыстар жасалынды. Плазмотронның жұмыс істеу принципі түсіндірілді. Плазмотронның технологиялық процессін жобалаудың жолында технологиялық процессті нормалау орындалды, ұнтақ жасалуының еңбексыйымдылығы анықталды.

Жобада ұнтақты балқымаларды диспергирлеу арқылы алудың ең көп таралған әдістеріне талдау жүргізілді және олардың әрқайсысының қажетті өнімділікке және ең аз энергия шығынына жеткенде ұнтақ сапасына қойылатын қазіргі заманғы талаптарды қамтамасыз ету үшін мүмкіндіктері анықталды (дисперсиялығы, химиялық және гранулометриялық құрамның біртектілігі, бөлшектер формалары және т.б.)

## **ANNOTATION**

In the thesis the perspective directions of development of powder metallurgy, a scope of powder and composite materials are considered and the main problems are allocated. Among them: the high cost of powder materials limiting their broad application.

For AM machines provides technology for the production of metal powders by atomic gas. Anatomical experiments are carried out. The principle of operation of the atomizer is explained. When designing the technological process of the atomizer, the normalization of the technological process is performed, the complexity of powder production is determined. Performed various works under the scheme of the plasma torch and principles of operation. The principle of operation of the plasmatron is explained. When designing the technological process of the plasmatron, the normalization of the technological process is performed, the powder production capacity is determined.

In work the analysis of the most widespread methods of receiving powder is carried out by dispersion of fusions and possibilities of each of them for providing modern requirements to quality of powder are defined (dispersions, uniformity of both chemical, and particle size distribution, a form of particles, etc.) at achievement of desirable productivity and the minimum energy consumption.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 3D баспасында қолданылатын аддитивті технологилар және материалдар	10
1.1 Ұнтақтар түрлері	10
1.2 Талдау. Аддитивті технологиялар үшін ұнтақтарды өндірудің өнеркәсіптік тәсілдері	13
2 Жоғары жиілікті плазманы қолдана отырып атомизация түрлері	18
2.1 Ортадан тепкіш плазмалық шашырату технологиясы (ОТПШ)	18
2.2 Дұрыс емес пішінді ұнтақ ты плазмамен өңдеу	20
2.3 Сфероидты нысандар бөлшектерінің түзілу механизмі	24
3 Плазмотрондардың классификациясы	28
3.1 Тоқ сипаты бойынша	28
3.2 Доға түрі бойынша	30
3.3 Плазмалық шаңдату плазматрондары	32



Қорытынды	35
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	36
А қосымша	
Б қосымша	

## КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта ұнтақ және композициялық материалдардың барлық өнеркәсіп салаларында қолдану аумақтарының кеңейтілуі тек ұнтақтарды алу тәсілдерін жетілдіруіне ғана емес, сол сияқты ұнтақты пайдаланудың жаңа әдістерін құруға және өңдеуге әкеледі.

Аддитивті технологиялар толық негізімен жиырма бірінші ғасыр технологияларына жатқызады. Олар әр түрлі өнім түрлерін құру үшін, энергетикалық шығындарды төмендетуде үлкен әлеуетке ие.

Оларды өнеркәсіптік өндірісте пайдалану дәрежесі мемлекеттің индустриялық және инновациялық даму дұрыс индикаторы болып табылады [1, 2].

Осы кезеңде үш өлшемді баспаның жетекші әдістерінің бірі аддитивті технологиялар болып табылады. Қазақстанда дайын бөлшектерді басып шығару үшін лазер пайдаланатын машиналар құрастырылады. Олар полимерлік бұйымдарды өндіру үшін ғана емес, сол сияқты металдан жасалған бұйымдарды басып шығару үшін жарамды, бұл осы саладағы өнеркәсіптің басым бағыттарының бірі болып табылады [3, 4].

Металдан жасалған сапалы бұйымдарды басып шығару үшін және құрастырылған қондырғылардың толыққанды жұмысы үшін шығын материалы қажет – металл ұнтағы, бөлшектер сфералық нысанымен [5].

Қазіргі уақытта тұтынушылар импорттық жоғары сапалы металл ұнтақтарын жеткізуден тәуелді, бұл айтарлықтай түпкі бұйым бағасына әсер етеді. Баяндалған мәселеге сүйене отырып мынаны ескеру жөн, бөлшектері сфералық нысанымен мамандандырылған металл ұнтақтарының меншікті өндіріс әдісін әзірлеу қажет.

Зерттеу пәні ретінде аддитивті лазерлік технологияларымен бұйымдарды өндіру үшін сфероидизирленген металл ұнтақтарын алу және қолдану болып табылады.

### **1 3D баспасында қолданылатын аддитивті технологилар және**

#### **материалдар**

##### **1.1 Ұнтақтар түрлері**

Ұнтақтар деп бөлшектерінің мөлшері 1,0 мм дейін сусымалы материалдарды айтады. Ұнтақтарбөлшектердің көлемі бойынша сыныпталады (шартты диаметрі  $d$  бойынша), оларды нанодисперсті  $d < 0,001$  мкм деп, ультрадисперсті  $d = 0,01-0,1$  мкм деп, жоғарыдисперсті  $d = 0,1-10$  мкм деп, ұсақ  $d = 10-40$  мкм деп, орташа  $d = 40-250$  мкм деп және ірі  $d = 250-1\ 000$  мкм деп бөлінеді [3].

Қазіргі уақытта АМ-технологияларында қолданылатын металлұнтақты композицияларға жалпы талаптары жоқ. Әр түрлі компаниялар –

АМмашиналарын өндірушілер әдетте компаниясымен жеткізілетін белгілі бір тізбеде материалдар жұмысын тағайындайды. Әр түрлі машиналарда әр түрлі фракциялық құрамымен ұнтақтар пайдаланылады. Ұнтақты сипаттайтын параметрлерінің бірі шамасы  $d_{50}$  – "орташа диаметрі бөлшектер" болып табылады. Мысалы,  $d_{50} = 40$  мкм ұнтақ бөлшектердің 50% - бөлшектердің мөлшері 40 мкм кем немесе тең. Мәселен, Phenix (3D Systems) машиналарында бөлшектер өлшемдері  $d_{50}=10$  мкм ұнтақ пайдаланылады; ал Conzept Laser машиналарында  $d_{50}=26,9$  мкм кезінде ұнтақ дисперсиялығы үшін 25...52 мкм шегінде болады; ал Arcam машиналар үшін бөлшектер мөлшері 45-100 мкм құрайды, SLM Solutions машиналар үшін  $d_{50}=10-30$  мкм және т. б.

Әр түрлі өндірушілердің ұнтақтарына белгілі бір сенімсіздік бар. Бір өндірушіден материал сатып алып және қосымша санын басқа өндірушіден алатын болсаңыз, сіз бірдей сапалы бұйым алғаныңызға ешқандай кепілдік жоқ. Бұл АМ-технологиялар үшін материалдарды стандарттау жөніндегі әдістерін жетілдіру қажеттілігін туындатады. Мұнда да үлкен зерттеу жұмысы қажет, себебі дәстүрлі технологиялар материалдардың қасиеттерін бағалау үшін қолданылатын қазіргі заманғы әдістері, анизотропия болуынан аддитивті технологияларына қолданылуы мүмкін емес, бұл бұйымдарды құру кезінде қабаттау негізінде шарасыз болып келеді. Шетелде стандарттау мәселелері аддитивті технологиялар үшін материалдар бойынша құзыретінде NIST – National Institute of Standards and Technology (АҚШ); ISO Халықаралық стандарттау ұйымының (TC261 комитеті аддитивті технологиялар бойынша) және ASTM (халықаралық комитеті F42 бойынша аддитивным технологиялар). Қазіргі уақытта Ti-6-Al-4-V материалына тек бір ғана стандарт әзірленді (ASTM F2924), ол Powder Bed Fusion технологияларында қолдану үшін.

Лазерлік синтез процесінің ерекшелігі, мысалы, SLM технологиясы бойынша, ол құру кезінде лазер сәулесі тек бөлшек денесін қалыптастыра отырып ұнтақ бөлшектерін біріктіріп, сол құрылатын бөлшектің тікелей іргелес бетіне салынып жатқан материалды бүлдіреді. Сондықтан SLS машиналарымен жұмыс істеу тәжірибесінде "ақаулы" бөлігін кетіру мақсатында материалды елеу әдістерін қолданады, одан әрі "сілтеме" ұнтақ балғын араласуымен жүзеге асады. Қандай пропорцияда – әрбір компания өз мүмкіндігіне қарай шешеді. Алайда, бір машинада құрылған үлгілердің ұқсастығы, бір сол ұнтақтан алынғандығы, осы жағдайларды ескере отырып, сондай-ақ кепілдендірілмеген.

АМ-машиналардың ұнтақтарына арналған жалпы талабы бөлшектердің сфералық нысаны болып табылады. Бұл, біріншіден, өйткені мұндай бөлшектер неғұрлым белгілі бір көлемде жинақы төселеді. Және, екіншіден, бөлшектердің сфералық нысанымен жеткізілетін ең аз ғана кедергісі бар материалдарды беру жүйелерінде ұнтақты композицияларының "тұрақсыздығы" қамтамасыз етілуі қажет.

Алюминий және титан сияқты пирроформды материалдарымен жұмыс істейтін машиналарына өртке қарсы жүйенің және жануды алдын алу ортақ

талабы шыққаны туралы жүйенің болуы болып табылады. Ұсақдисперсті ұнтақтарымен жұмысы кезінде (әсіресе  $d_{50} < 10$  кезінде) олардың ұштығынан қауіпсіздік шаралары сақталуы қажет.

Бір жағынан қарағанда, шамасы аз  $d_{50}$ , құру қадамы аз болуы мүмкін, оның үстіне бөлшектің ұсақ элементтері бедері пысықталуы мүмкін және құрылған бөлшектің әсіресе тегіс бетін алуға болады. Екінші жағынан, жоғарыда айтылғандай, құру процесінде лазердің дақтар аймағына лезде энергияның үлкен саны енгізіледі: балқу процесі өте қарқынды жүреді – металл қайнайды балқыманың және металдың бөлігінің шашырауы жүреді (құрылыс материалы) құру аймағынан ұшып келеді. Визуалды бұл айтарлықтай қарқынды ұшқын пайда болады. Егер ұнтақ өте шағын бөлшек өлшеміне ие болса, бұл кері нәтижеге – бөлшектің микротегіссіздігіне, жоғары кедір бұдырлығына әкеледі. Тағы бір жағдай: балқыма аймағынан ұшып шыққан бөлшектер көршілеріне түспеуі үшін, құрылған қабат бетіне жұмыс камерасының ішінде балқылған бөліктері бағытталған "жел" құрайды, ол ұшып шыққан бөлшектерін бір жағына қарай ұшырады. Бұл сондай-ақ құру аймағынан құрылыс материалдарын қарқынды шығаруына әкелуі мүмкін. Осы жағдайларына қарай  $d_{50} < 10$  мкм ұсақдисперсті ұнтақтарымен жұмысы кезінде азқуатты лазерлер қолданылады, сондықтан, азөнімділікті болады. Мұндай ұнтақтар өзге де тәсілмен алуға мүмкін емес (тиісті машиналар параметрлеріне сай) негізінен микро бөлшектер дайындау үшін қолданылады.

Ұсақдисперсті ұнтақтарымен жұмыс кезінде туындайтын қиындықтары, олардың қасиеті – жоғары жентектеу байланысты болады. Бұл АМмашиналарын пайдалану және материалдарды сақтауына қойылатын ерекше жағдайлар талаптарына ие.

Ұнтақ материалдарын алу мәселесі АМ-технологиялар дамыту үшін ғана емес, бүкіл классикалық ұнтақ металлургия үшін де өзекті. Металлұнтақты композициялар мұндай жоғары технологиялық салаларда, авиакұрылыс, энергетика, әскери және ғарыштық техника, кеме жасау, аспап жасау салаларында қолданыс табады (1 кесте).

1 – кесте – Ұнтақ материалдарын қолдану аумақтары

Ұнтақ компоненттері Al-Ni-Co, Fe-Nd-B	Қолданулуы магниттер өндірісі, магниттер
Al-Si-Mg	Термотұрақтылық құрылымымен қорытпалары
Al-Sn-Cu	Сырғанау мойынтіректері
Al-ауыспалы лантаноидтар	Жоғары термоберіктігімен қорытпалары
Bi-Te, висмут теллуриды	Пельтье эффектісін қолданылатын құрылғылар
Cr-Al	Қорғау аражабындар

Co-Cr	Тістіпротезжеу үшін қорытпалары
Cu-Ba, Cu-Y	Суперөткізгіштер
Cu-Cr-Zr	Электрөткізгіштер бериллийсіз
Cu-In-Ga	Selenide Фотогальваникалық материаллары
Cu-Mn-Ni, Cu-Ti	Sn Кескіш құрал
Au-Pt-Pd-Ag-In, Ni-Ti-Si-B, Ag-Cd-Zn-Cu	Дәнекерлеу үшін қорытпалар
Au-Ag-Cu	Жіңішке қабықшалы аражабындар
Fe-14%Cr-0,4% C	Арнайы құрал және әбзелі
Fe-Mn	Прокаттау орнақтарының төзімді тіректер
Fe-6%Si	Өзекшелері трансформаторлары
Fe-Si-Al	Магнитті компоненттері Сплавы Mg Металлды матрицалар
Ni	Алюмидтер құрылымдық компоненттер және аражабындар
Ni-Ce	Катализаторлар
Ni-Cr-Fe-Si-B	Плазмалық тозаңдату үшін ұнтақтары
Ni-Cr-Mo-B	Коррозияға қарсы аражабындар
Ni лантаноидтар	Отын элементтері
Тоттанбайтын болат 304/316 МІМ технология	Болат Т42 аспаптық әбзелі
Tb-Fe	Опτικο-электронды құралдары

## **1.2 Талдау. Аддитивті технологиялар үшін ұнтақтарды өндірудің өнеркәсіптік тәсілдері**

Металлұнтақтарды алудың әр түрлі әдістері бар, оларды шартты түрде физика-химиялық және механикалық деп бөледі. Физика-химиялыққабастапқы шикізаттың физика-химиялық айналдыруын жатқызады, бұл кезде дайын өнім – ұнтақтың химиялық құрамы мен құрылымы бастапқы материалдан айтарлықтай–ерекшеленеді. Механикалық әдістер химиялық құрамының айтарлықтай өзгеріссіз шикізаттан ұнтақты өндіруді қамтамасыз етеді. Механикалық әдістеріне мыналар жатады, мысалы, диірмендерде ұнтақтаудың көптеген нұсқалары, сондай-ақ балқымалардың диспергировалау газ ағыны немесе сұйықтық арқылы, бұл процесті атомизация деп атайды.

Ұнтақтаудың механикалық әдістерімен алынатын бөлшектер ұнтақтары, дұрыс емес жарқыншақ пішініне ие болады. Дайындалған ұнтақта үлкен санды қоспалар бар – диірмендерді шегендеу және ұнтақтау денелердің тозу өнімдері. Сондықтан бұл әдістерді аддитивті технологияларды пайдаланылатын ұнтақтарды алу үшін қолданбайды.

Балқыманың диспергирлеуі– металдардың ұсақ және орташа ұнтақтарды неғұрлым өнімді, үнемді және тиімді алу тәсілі: барлық өнеркәсіп ұнтақтарының 60-70 % көлемі дәл осы әдіспен алынады [18]. Тозандану (атомизация) көпкомпонентті қорытпаларды ұнтақтарды өндіру кезінде кеңінен қолданылады, атап айтқанда, аморфты құрылымы, композицияның біркелкі химиялық құрамына қол жеткізуге мүмкіндік береді, тіпті легірлеуші компоненттердің құрамы қорытпаның негізінен компонентінде ерігіштік шегі жоғары болған жағдайда да.

Балқымаларды диспергирлеу әдістерімен алынған ұнтақтар сфералыққа жақын бөлшектер нысанын пайдаланады. Аддитивті технологияларында қолданылатын ұнтақтардың 90% - дан астамы балқыманы диспергирлеу әдістерімен алады. АМ-машиналар үшін ұнтақтарын алудың негізгі технологиялары болып мынадай атомизация табылады: газ; вакуумды; ортадан тепкіш.

Қазіргі кезде әлемде көптеген зерттеу институттары аддитивті технологиялар арқылы бөлшектер өндірісінің міндеттері жөніндегі шешімімен айналысты. Мұндай бұйымдарды өндіру әдісі айтарлықтай жұмсалатын материал санын азайтады, уақытын қысқартады, осылайша күрделіпрофилді бөлшектер дайындауға жалпы құнын төмендетеді. Аддитивті технологиялары үлкен артықшылығына ие, өндірістік процесс икемділігі сияқты. Мысалы, бізге габариттің ұлғаю немесе азаю жағына қарай бұйымдардың номиналды өлшемдерін өзгерту қажет. Бұйымдарды дайындау классикалық әдісі кезінде, технологиялық процесті толығымен өзгертуге тура келеді, ал аддитивті технологиялар қажетті параметрлерін алып басқарушы жүйесіндегі модельдің өлшемдерін өзгертіп ғана осы мәселені шешуге мүмкіндік береді [6-10].

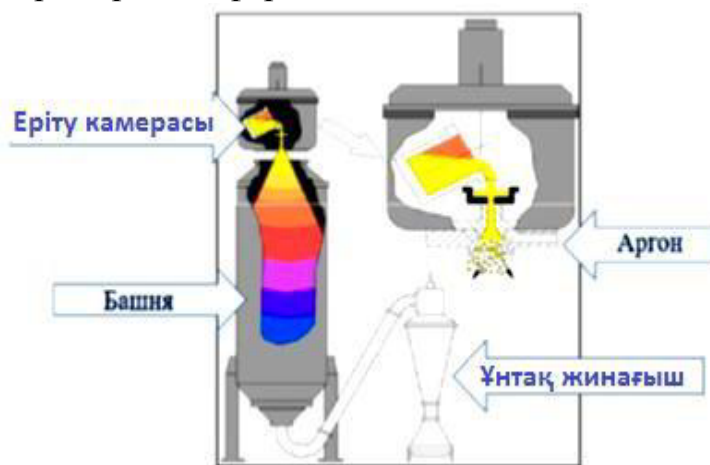
Аддитивті технологиялар өте күрделі процесс болып табылады, ол бірнеше кезеңнен тұрады. Алдын ала соңғы өнім қандай технологиялық параметрлеріне және қасиеттеріне ие болуына қажет екенін анықтау керек. Осы деректер негізінен қолайлы құрамымен қорытпа дайындайды, содан кейін металл ұнтағын өндіреді. Содан кейін алынған ұнтақ үшін бұйымның сапалы үрдісін құру үшін дайындық операциялар өткізеді.

Келесі кезеңінде металл ұнтағының қабаттап жағу және бір-бірімен бөлшектерінің арасындағы инертті газбен толтырылған ортада берілген траекториясымен жентектеуі жүреді. Осылайша шығуда біз одан әрі қолдануға дайын толыққанды бұйым аламыз [4].

Ұнтақтың жоғары бағасы сфералық болатын ұнтақтың металл бөлшектер нысанына қойылатын ерекше талаптарына сәйкес негізделген. Металл

ұнтағының сфералық бөлшектері жұмыс қабатының түрінде жақсы жағылады, берілген көлеміне жинақы төселеді және бөлшектердің бір-бірімен жентектелуі бойынша лазердің жұмысын жеңілдетеді [4]. Мамандандырылған металл ұнтағын бірнеше классикалық әдістерімен өндіреді, олар газ, вакуумды және ортадан тепкіш атомизация сияқты. Атомизацияны арнайы қондырғыларда жүргізеді - атомайзерлерде.

Газ атомизациясының процесі мамандандырылған қондырғыда жүргізеді, мұнда металды «балқыту камерасында» балқытады, оны инертті газбен толтырады. металл толығымен балқығаннан кейін расплавился, оны жоғары қысыммен шашыратқыш арқылы құяды. Шашырату кезінде сұйық металдың инертті газ ағынымен бұзылуы жүреді. Ұшу фазасы кезінде, металл бөлшектері, беттік керілуін күштер әсерінен сфералық нысанын алады [4].



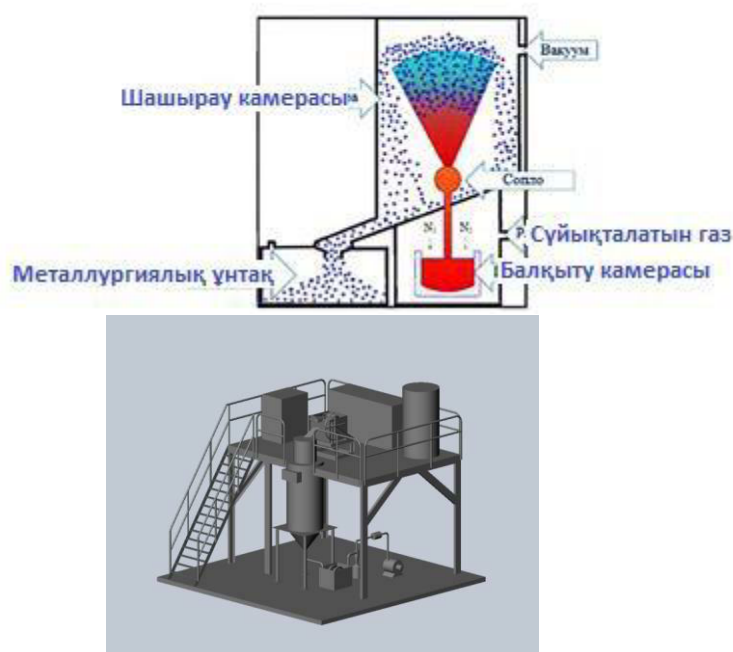
1 – сурет – Атомизация сұлбасы

Газ атомизация әдістері (ГАӨ), әдетте, жоғары өнімділігімен ерекшеленеді және ұнтақты материалдардың үлкен көлемін өндіру үшін пайдаланылады. Газды тозаңдатудың технологиялық процесі өзінше мынаны білдіреді балқыту камерасында металды балқуы, оттық арқылы басқарылатын режимде құюі (шашыратқыш), мұнда инертті газ, су немесе ауа ағымымен сұйық металл ағынының бұзылуы жүргізіледі [5].

Никель және титан негізіндегі өнеркәсіптік қорытпалар, әдетте, аргон ағынымен диспергирленеді. Газ - энергия тасымалдағышты қолдану кезінде балқыманың диспергирлеу ағынының үш схемасы болуы мүмкін: газ ағысы балқыма ағысын өске сәйкес айналасына ағады; газ ағыны балқыма ағынына тік бұрышпен бағытталады; газ ағыны балқыма ағыны кейбір бұрышы (20дан -90 ° дейін) бағытталуы мүмкін. Ең кең таралған тозаңдануы 30-дан 90 ° бұрышымен кездеседі 5].

Газ атомизацияның өнімді әдістерінің бірі VIGA технологиясы болып табылады (Vacuum Induction Melt Inert Gas Atomization). VIGA-процесі инертті газбен балқыманы тозаңдату және вакуумдық индукциялық балқытуды пайдалана отырып жүзеге асырылады [125]. Процесс схемасы 8 суретте

көрсетілген. Тозандату аймағына балқыманы беру іске асырудың екі нұсқа болуы мүмкін – отқабырды еңкейту арқылы аралық ыдыстың және түптік құю арқылы жолымен жүзеге асады [5].

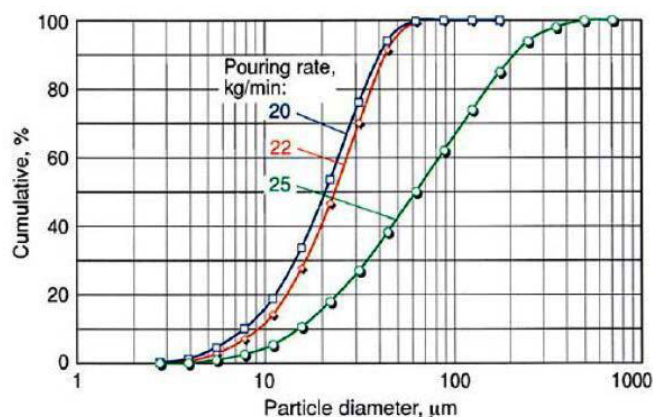


2 – сурет – Вакуумды атомизацияның үрдісі

VIGA процесінің бірінші кезеңінде металл қорытпаның вакуумдық индукциялық балқыту жүзеге асырылады, нәтижесінде ол газ қоспаларынан гомогенизирленеді және рафинирленеді. Балқыма температурасы отқабыр материалына байланысты 1900 °С-қа дейін жетуі мүмкін. Балқыту және рафинирлеуден кейін балқыма алдын ала қыздырылған жүйесі арқылы тозаңдату аймағына беріледі, мұнда балқыма ағысы жоғары қысымды инертті газ әсерінен шашырайды. Жоғарыдисперсті балқыма тамшылары нәтижесінде ұнтақтың сфералық бөлшектері балқыған форсунка астында орналасқан бос құлаған камерада қатады. Шашырату процесінен кейін ұнтақ инертті атмосферада циклонға беріледі, онда фракциялауы жүзеге асырылады [5].

Бұл технология алынатын ұнтақтардың фракциялық құрамын металл балқыма шығыны мен газ шығының арасындағы қатынасын өзгерту жолымен айтарлықтай ауытқуын құруға мүмкіндік береді. Осылайша, оттық арқылы балқыма шығынының ұлғайюы соңғы ұнтақтың фракциялық құрамын мүмкін айтарлықтай кеңейтуге болады (3 сурет). VIGA өнеркәсіптік технологиясы бойынша алынған материалдар оттық материалдарымен ісер етпейді, атап айтқанда: никелді қорытпа; кобальт қорытпалары; жоғары легирленген болат және түсті металдар.





3 – сурет – Ағынды арна арқылы металл шығынына байланысты ұнтақтың фракционды құрамы (20, 22 және 25 кг/мин) [5]

Оттық материалы (титан, цирконий, кейбір интерметаллидтер), сондайақ баяу балқитын материалдар үшін, оның балқу температурасы оттық материалының балқу температурасы жоғары, мұнда әдіс жобаланған электродтың оттықсыз балқыту технологиясы қамтамасыз етіледі EIGA (Electrode induction guide inert gas atomization) [6].

EIGA - процесі (4 сурет) құю технологиясы немесе ұнтақ металлургия арқылы алынған электродтың цилиндрлік дайындаманы қолдана отырып жүзеге асады. EIGA процесінде электродтың бүйірінің балқуы конусты пішінді индукторда индукциялық қыздыру арқылы жүзеге асады. Балқу процесі кезінде ақырын айналып тұрған индукторға түседі, ал балқыған металл ағыны шашыратқыш форсункаға бағытталады.

Айта кету керек, EIGA қондырғылары өнімділігі (~0,5 кг/с) жоғары қабілеттілігіне ие. Алайда, бір процесс барысында қондырғыға бірнеше электродтарды жүктеу мүмкін, ол ұнтақтарды алудың квазиүздіксіз процесі жүзеге асады, осылайша бір балқытуға бірден ондаған килограмға дейін қайта балқытуға болады.

#### Балқыманы тозаңдатудың ортадан тепкіш технологиясы

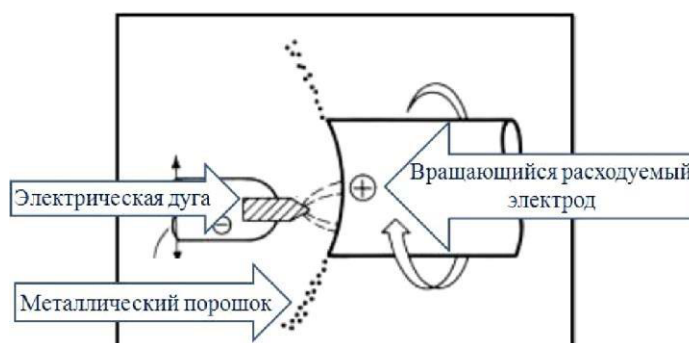
Балқыманың ортадан тепкіш шашыратуы оттекке жоғары ұқсастығына ие металдардың балқымалары диспергирлеудің негізгі түрі болып табылады. Ортаға тепкіш тозаңдану үш түрлі схемалар бойынша іске асырылуы мүмкін [119-121]:

- тезайналатын электродтың шашырауы;
- айналып тұратын дискімен балқыманы шашырату;
- айналатын перфорирленген стақан арқылы балқыманың шашырауы.

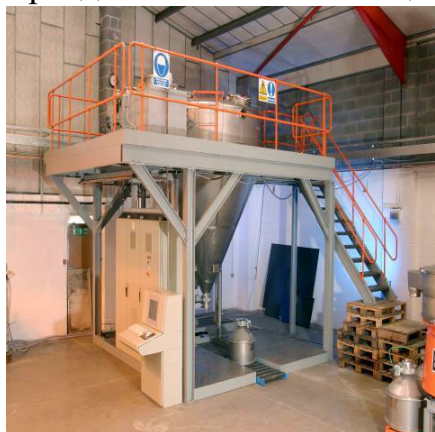
Шашыралған ұнтақтарды алу кезінде екінші (диск) және үшінші (стақан) 4 схема бойынша металдың балқуын дербес шашырату аймақтан тыс жүргізу қажет, бұл химиялық белсенді және баяу балқитын материалдарына елеулі шектеуін жүктейді. Сол уақытта айналмалы электрод әдісі әмбебап болып

табылады және кез келген металдар мен қорытпалардан ұнтақтар алудың іс жүзінде қолдануға арналған [6].

Бастапқыда айналмалы электродты тозаңдату технологиясы балқыманың шашыратуын көздейді, ол шыбық және вольфрам электрод материал арасындағы электр доғасының пайда болған нәтижесінде электрод бүйірінде құрылған (5 сурет). Бұл әдістің бас артықшылығы балқыманың оттықпен немесе құю құрылғыларымен түйісуінің толық алып тастауы болып табылады. Бұдан басқа тамшылардың басқа механизм есебінен қалыптасуы (газ шашырату салыстырғанда) ұнтақтар неғұрлым тығыз құрылымы мен саны аз сателлиттеріне ие болады.



4 – сурет – Ортадан тепкіш атомизация процесі [6]



5 – сурет – Компании ASL центірден тепкіш атомизация орнағы

## 2 Жоғары жиілікті плазманы қолдана отырып атомизация түрлері

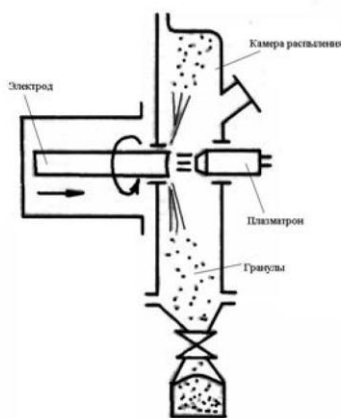
### 2.1 Ортадан тепкіш плазмалық шашырату технологиясы (ОТПШ)

Уақыт өте келе ортадан тепкіш атомизация технологиясының жаңа модификациясы пайда болды – шыбықты дайындаманың плазмалық ортадан тепкіш шашырату технологиясы (ОТШТ) [7]. Ағылшын терминологиясында Plasma Rotating Electrode Process (PREP). Бұл нұсқада шыбық дайындаманы

тезайналатын бүйірінде балқыту технологиясы ионизирленген инертті газ ағынының жоғары жылдамдық арқылы жүргізеді.

Ресейде бұл әдіс А. Ф. Белов академик арқылы жүзеге асырылды және кеңінен қолданыс тапты [7]. Мәселен, Бүкілодақтық жеңіл қорытпа институтында (БЖҚИ) 1970-ші жылдары шашырататын құймакесек-электрод көлденең орналасуымен ортадан тепкіш УЦР типті қондырғылар әзірленді (6 сурет). УЦР қондырғыларында ұнтақ алу процесі мынадай тізбекпен тізбекте жүргізіледі. Арнайы дайындалған электродтар партиясы электродтар жинағыштарға жүктеледі, оларды жүктеу құрылғыға орнатады. Тиеу құрылғылары электродтар кезекпен бөлгіш электродтар арқылы барабандарға және көлденең арнайы электромеханикалық жетегі жылжып беріледі.

Айналымды электрод балқу камерасына беріледі, онда арнайы плазмалық көзімен балқу температурасына дейін қыздырылады. Инертті ортада айналып дайындамадан ұшып келген балқыма тамшылары металл бөлшектері құрайды – өте ұсақ ұнтақ, ол балқыту камерасынан перемещается қабылдау бункеріне жиберіледі. Классикалық гранульді металлургия технологиясы бойынша алынған ұнтақтар түпкілікті нысанға жақын бұйым дайындамасын алумен пішін пайда болатын әбзелде газостатикалық престеуге ұшырайды, іс жүзінде тығыздығы 100%. Гранульді металлургия негіздері ресейлік ғалымдар жұмыстарында салынған ВИЛС, ААҚ "Композит".



6 – сурет – Ортадан тепкіш шашыратудың плазмалық қондырғысының сұлбасы

Ортадан тепкіш процесін зерттеуі электродтарды тозаңдатуы және сфералық нысанды түйіршіктердің эксперименталды үлгілерін "Электромеханика" (Ресей) УЦР-6К өндіру плазмалық ортадан тепкіш шашырату қондырғылар пайдалана отырып жүзеге асырды, сырт пішіні- 7 суретте келтірілген.

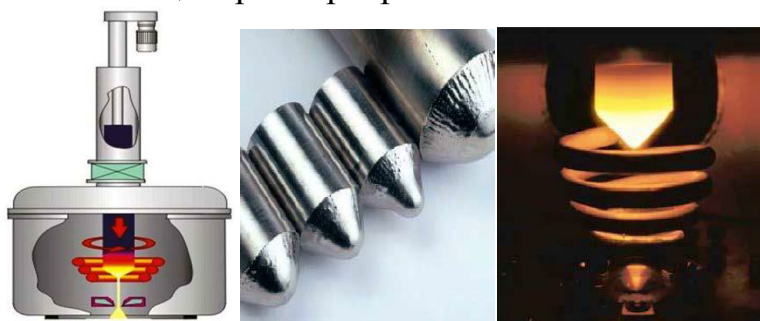


7 – сурет – УЦР – 6К ортадан тепкіш шашыратудың плазмалық қондырғысы

ОТП зерттеу барысында үрдістің екі технологиялық параметрін түрлендірді: плазмотрон доғасындағы ток күші (плазмотрондоғасындағы  $U=50$  В кернеуі өзгермегенде) және электрод айналу жиілігі. 7-кестеде NiAl негізінде жасалған қорытпалардан дайындамаларды тозаңдатудың технологиялық параметрлерінің сандық мәндері келтірілген.

2 кестеде NiAl негізінде жасалған қорытпалардан дайындамаларды тозаңдатудың технологиялық параметрлерінің сандық мәндері келтірілген.

2 – кесте – NiAl негізіндегі қорытпалардан дайындамаларды тозаңдатудың технологиялық параметрлері



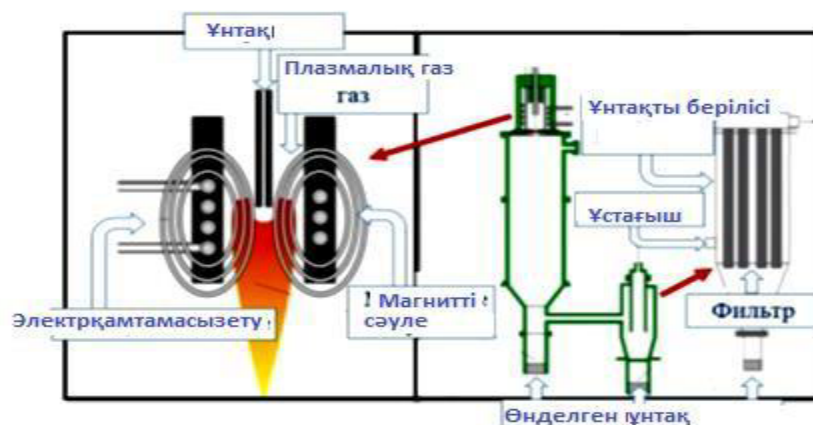
а – процесс схемасы; б – бастапқы материал (feed stock); в – EIGA процесі

8 – сурет – EIGA процесс схемасы

## 2.2 Дұрыс емес пішінді ұнтақ ты плазмамен өңдеу

Жоғарыда аталған әдістерінің баламасы үшін плазмамен ұнтақтарды өңдеу технологиясы әзірленді [8]. Ол стандартты ұнтақтарға металл бөлшектерінің кез келген геометриялық кемшіліктерін тегістей отырып сфералық нысанын беруге мүмкіндік береді. Құрылымындағы ақауларымен ұнтақтары плазма толқынында балқыланады (9 сурет), нәтижесінде бөлшектер

дұрыс сфералық нысанын алады және аддитивті лазерлік технологиялар одан әрі қолдануға дайын болады.



9 – сурет – Металл ұнтақтарының плазмалық өңдеу процесі [6]

Жалпы түрде өңдеу процесі былайша көрінеді. Аддитивті өндіріс қондырғыларында пайдалану үшін арналмаған стандартты металл ұнтағы, геометриялық кемшіліктеріне ие, оны плазма ағынына орналастырады. Балқи отырып ұнтақ бөлшектері, беттік керілу күш әсерінен сфералық нысанын алады [8].

Бірінші кезекте бөлшектер нысаны плазмалық өңдеудің шарттары мен режимдерін тәуелді, сондай-ақ өңделетін ұнтақтың ойнайды, физикохимиялық қасиеттерінде маңызды рөлі аз емес. Егер металл сұйық күйде үлкен беттік керілуіне ие болса, онда оның әсерінен бөлшектер сфералық нысанын алады. Егер дұрыс өңделмеген жұмыс процесі кезінде, немесе металл бар төмен беттік керілуіне ие болса, онда бөлшектер беттік керілу уақытынан бұрын кристалданады, бұл сфералық нысанын береді. Нәтижесінде ұнтақ бөлшектері әр өсті, дұрыс емес нысанды болуы мүмкін [92]. Сфера орталығынан бастап барлық бет бағыттарына баратын ішкі қысымына ие, ал беттік керілуі сфералық жағдайына металл молекулалары байланыстырады (9 сурет). Бөлшектер ұнтақтар сферасына қалыптасады және сол аддитивті технологиялардың өнеркәсіпте тиісінше қолдану аясын тарылтады. Сондай-ақ, кемшіліктеріне әрбір нақты материалына жабдықтарды қайта жөндеу уақытын жатқызуға болады, ол сегіз сағатты алады [9].

Бұл кемшіліктер сфералықтан салыстырмалы бөлшектер нысанымен стандартты металл ұнтақтарын плазмалық өңдеу әдісімен ерекшеленеді [88]. Плазмада синтезделген ұнтақты былайша жіктеуге болады: 1-ден 100 нм ультрадисперсті; 100 нм-ден 10 мкм - жіңішке дисперсті; 10-нан 200 мкм орташа дисперсті; 200-ден 1000 мкм - саңдисперсті [9].

Плазмалық өңдеу кез келген металл бөлшектердің геометриялық кемшіліктерін тегістейді, өндірістік шығындарын төмендетуге мүмкіндік

береді, сондай-ақ атомизация әдістерінің аталған барлық мәселелерін жоққа шығарады. Бұдан басқа, сфероидизирленген ұнтақ мынадай артықшылықтарына ие:

Жақсарту "аққыштық" ұнтақ. Сфероидизация бөлшектер қамтамасыз етеді біртекті сыпучесть порошка.

1. Ұнтақ "аққыштығын" жақсарту. Бөлшектердің сфероидизациясы ұнтақтардың біртекті сусымалдығын қамтамасыз етеді. Бұл ұнтақтың өңдеуін жеңілдетеді және үш өлшемді әдістерінің басу арқылы бұйымдар құру аймағына беру жылдамдығы дәл бақылауға мүмкіндік береді.

2. Бөлшектердің ішкі қуыстарын және жарықтарын жою. Жекелеген ұнтақ бөлшектерін балқыту жекелеген бөлшектер ішкі кеуектілігін жояды, демек, бөлшектердің қаттылығын және жалпы ұнтақ көлем тығыздығын арттырады.

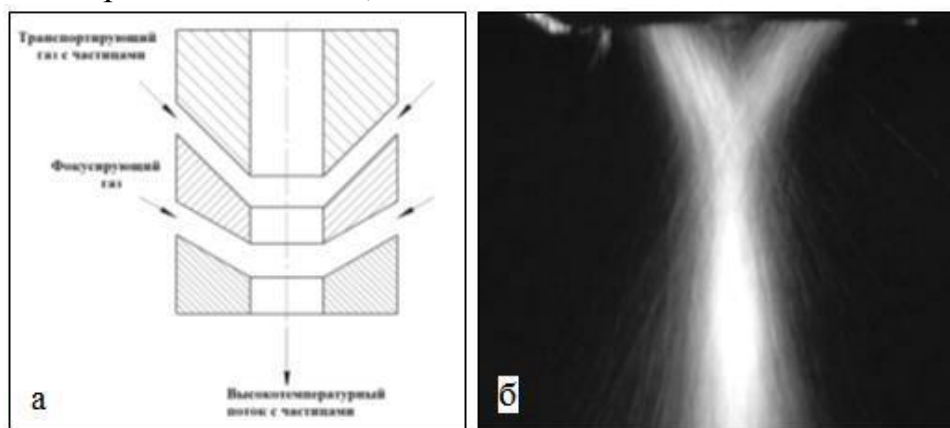
3. Бөлшектер бетінің морфологиясын өзгерту. Бөлшектердің макроскопиялық беті тегіс болады. Бұл әсер жекелеген бөлшектер арасындағы үйкеліс коэффициенті азайтады және газды ортада материалды көшіру кезінде ластануын төмендетеді.

4. Ұнтақ тазалығын арттыру. Плазманың жоғары температура арқасында қоспалардың реактивті будың пайда болуы жүреді [9].

Эксперимент жүргізу үшін ИТПМ СО РАН әзірленген маркасы ПНК – 50 электрод арасындағы секцияланған тұрақты тоқты электр доғалық плазмотрон қолданылған. Плазмотронның номиналды қуаты – 50 кВт, металл ұнтақтарын өңдеу өнімділігі –30 кг/сағ дейн, қыш –10 кг/сағ дейн. Плазматрон шүмек кесіндісінде ауа немесе азот ағынының орташамассалық температурасы – 7000, аргон плазмасы –11000 дейн, бұл жеңіл балқытын және қиын балқытын металдар мен керамиканы өңдеуге мүмкіндік береді.

Газодинамикалық фокусирлеумен ұнтақты сақиналық енгізу торабымен плазмотрон жасақталған (10 сурет). Торап конструкциясына РФ патенті алынды [6].

Сақиналық енгізу торабы термиялық плазма ағынына ұнтақты біркелкі, таратылу енгізуін қамтамасыз етеді, бұл айтарлықтай ұнтақтарды өңдеу өнімділігін және тиімділігін арттырады (нүктелі енгізумен салыстырғанда өңдеу өнімділігі бірнеше есеге өсті).



бастапқы ұнтақтың сұйық фазада тұрған бөлшектердің беттік керілу күшін қамтамасыз етеді.

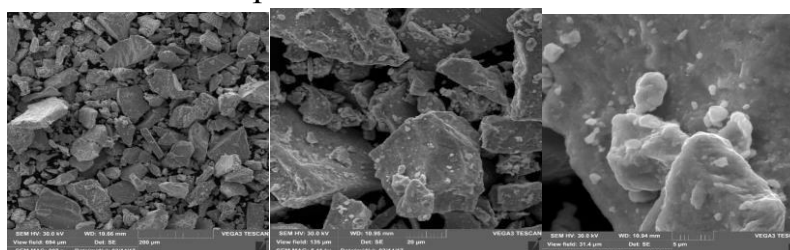
Өңделген ұнтақ суымен бірге ыдысқа жиналады, ол плазмотрон шүмектерінің кесіндісінен қашықтығы ~ 1м орналасқан, онда ол алынған нысанын сақтай отырып суытылды.

Эксперименттер жүргізуден кейін, мыс және ниобий ұнтақтары, кептірілуі қажет болды, содан кейін плазмамен өңдеуден кейін бөлшектердің сфералық пішіндеріне зерттелген болды.

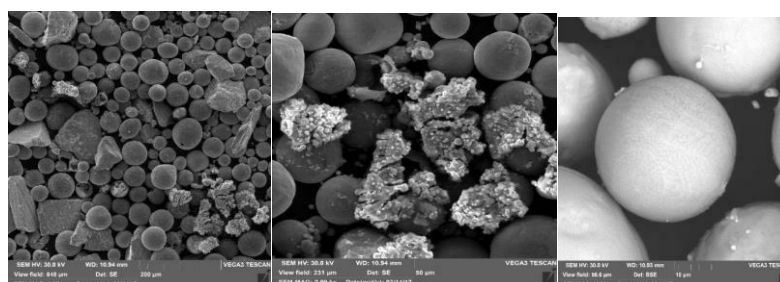


а – өңдегеннен кейін, б – өңдеу алдында (үлкеюі 100 есе); в – өңдеуден кейін, г дейін өңдеу (үлғаюы 400 есе)

11 – сурет – Плазмалық өңдеуге дейін және өңдеуден кейін мыс ұнтағының бөлшектер нысаны.



12 – сурет – Ниобий плазмалық өңдеуге дейін ұнтақ бөлшектерінің нысаны

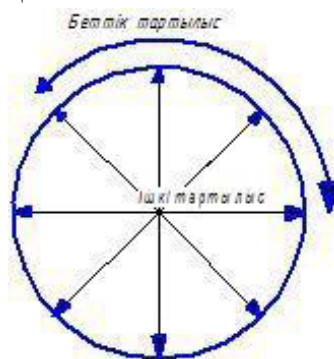


13 – сурет – Ниобийдің плазмалық өңдеуден кейін ұнтақ бөлшектерінің нысаны

## 2.3 Сфероидты нысандар бөлшектерінің түзілу механизмі

Ең алдымен, бөлшектер нысаны плазмалық өңдеу процесінің шарттары мен режимдеріне тәуелді, ең аз емес маңызды рөлін, сондай-ақ өңделетін ұнтақтың физикохимиялық қасиеттері ықпал етеді. Егер металл сұйық күйде үлкен бет керілуіне ие болса, онда оның әсерінен бөлшектер сфералық нысанына ие болады. Егер жұмыс процесі дұрыс жасалмаған жағдайда немесе егер металл төмен беттік керілуіне ие болса, онда бөлшектер мүмкін кристаллизатся уақытынан бұрын қарағанда, беттік береді, оларға сферическую нысаны. Нәтижесінде ұнтақ бөлшектері әр өсті, дұрыс емес нысаны ие болуы мүмкін [92].

Сфера орталығынан бастап барлық бет бағыттарына баратын ішкі қысымына ие, ал беттік керілуі сфералық жағдайына металл молекулалары байланыстырады (14 сурет). Бөлшектер сфераға қалыптасады, өйткені бұл нысан беттік керілуінің ең аз деңгейін талап етеді, т.с.с. мұндай нысанды алу үшін ең аз энергия шығындары қажет.



14 – сурет – Металдың сфералық бөлшектер схемасы

Егер металдың балқыған сфералық бөлшектерін сол жақ бөлігі және оң жақ бөлігін бірдей ағып кесуіміз қажет, онда Лаплас теңдеуінің қолдануы мүмкін, бұл мынаны дәлелдеуге көмектеседі:

$$= \cdot \_ \quad (1)$$

мұнда  $F$  – беттік керілуі,  $H$ ;  
 $P$ – ішкі қысым,  $P_a$ ;  $R$ –  
бөлшек радиусы,  $m$ .

Бұл формула сфералық нысанын алу үшін ең аз беттік керілуін талап етеді.

Плазма ағынында пайда болған әрбір бөлшек жылулық жүктеулеріне түседі, бірақ өңдеу жылдамдығы үлкен болғандығынан бөлшек түбіне дейін балқып үлгермейді (сурет). Негізі бұл баяу балқитын металдарынан өлшемдері 100 мкм жоғары бөлшектеріне қатысты болады [94]. Плазмалық өңдеуі үшін



осындай фракциялы ұнтақ дұрыс болады, бұл ұнтақ бөлшектерінің инжектор қабырғасына жабысуын болдыртпайды.



15 – сурет – Плазма ағынында қозғалатын дискретті бөлшектің схемалық көрінісі және оның қыздырылуы [95].

Плазмалық ағынындағы бөлшектердің қыздырылуы сфералық денелер үшін жылуөткізгіштік теңдеуімен сипатталады.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{4\pi R^2 \rho C T}{3} \right) + \frac{d}{dt} \left( \frac{4\pi R^2 \rho C T_A}{3} \right) \quad (2)$$

$$0 < \frac{dR}{dt} < \frac{dR}{dt} < \frac{dR}{dt}$$

$$= \int \dots + \dots \quad (3)$$

- мұнда  $H(T)$  энтальпия, кДж;  
 $T$  - температура, К;  
 $R$  - бөлшек радиусы, м;  $T$  - бөлшекті қыздыру уақыты, с;  $t_A$  - нүктесіндегі уақыты, с;  
 $t_L$  - өстік арақашықтығындағы уақыты, с;  $\lambda$  - жылуөткізгіштік, Вт/м·К;  
 $C$  - жылусыйымдылығы, Дж;  
 $\rho$  - тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>.

Шектік шарттары былай анықталады:

$$\frac{dT}{dt} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dR}{dt} = \dots = \dots \quad (5)$$

$$= \dots - \left( \dots \right) + \left( \dots - \left( \dots \right) \right) \quad (6)$$

мұнда  $q$  - газдан бөлшекке дейін жылулық ағыны, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  - плазмалық ағын және бөлшек арасындағы конвективті

жылуды алмасу коэффициенті;

- сәуленену қабілеттілік коэффициенті арқылы радиационды жылу алмасуы;

$T_r$  - бөлшек орналасқан орындағы газ температурасы, К;

$T(R)$  - бөлшек бетінің температурасы, К;

— булану жылуы, Дж;

( ) — буланудың беттік массалық меншікті шығыны, Дж;  $\sigma$  - Стефан – Больцман тұрақтысы, Вт/м<sup>2</sup> К.

Бөлшектің плазма ағынында қызған жағдайда металл бетінен буланады, бірақ бөлшектер радиусы өзгеруі мүмкін. Тұрақты ауысып тұратын радиусты әрбір уақыт моментінде масса тепе теңдік теңдеуі арқылы есептеуге болады:

$$\frac{dm}{dt} = \dots \quad (7)$$

мұнда  $m$  - бөлшек массасы, тең = кг;

$S$  - Бөлшектің бет аумағы, тең = 4  $\pi r^2$ .

Металл бөлшектернің плазмалық ағынына түскен жағдайда әр түрлі қозғалыс траекториясын және жылдамдықтар мәндеріне ие боламыз.

Бөлшектер жылдамдығын және траекториясын аэродинамикалық кедергі күшінің плазмалық ағынында ұшу уақытында бөлшектер бетіне сер ететін Ньютонның екінші заңын қолдана отырып алуға болады. Бұл мақсаты үшін бөлшектердің орталық координаттары. Берілген теңдеуді келесідей жазамыз.

$$\vec{r} = \dots$$

$$\vec{v} = \dots \quad (8)$$

мұнда  $v$  - бөлшек жылдамдығы, м/с;  $u$  - шашыраған бөлшегінің өзара әсерін ескеретін, локальді бос ағу

жылдамдығы, м/с;

$F$  - аэродинамикалық тарту күшінің векторы, Н;

$C_d$  - сфералық бөлшекті алмастыру коэффициенті;

$S_n$  - бөлшектің көлденең қима ауданы, м<sup>2</sup>;

- қоршаған газ тығыздығы, кг/м<sup>3</sup> ;  $g$

- гравитациялық үдеуі, м/с<sup>2</sup>.

Плазмалық ағынына берілетін бөлшектер жылдамдатылады және газбен қыздырылады. Сол арада ағын бәсеңдейді және инжекторлық бөлшектер әсерінен суытылады [95]. Осы эффектіні ескеру үшін «екіжақты байланыс» әдісі жүзеге асырылады, мұда сұйықтықтың ағын энергиясын импульспен

үйлестіре отырып және  $S_v$ ,  $S_H$  элементтер арқылы бөлшектер энергиясының теңдеулерін үйестіре отырып жетеді. Бұл элементтер плазмалық ағын өрісіндегі бөлшектердің қызуын және үдеуінен, импульс, энергия шығынын енгізе отырып былай анықтайды:

Мұнда  $S_v$ ,  $S_H$  плазмалық ағынының бөлшектерімен өзара әсерінен механикалық импульстің жоғалуы және плазмалық ағын жылуының локальді мәндері:

$$= \frac{24}{24} \leq 0.2 \quad (9)$$

$$\frac{24}{24} + 3.6 \cdot + 4 \cdot \quad 0.2 < \leq 4 \quad (10)$$

$$\left. \frac{24}{24} \right] = 2 \frac{24}{24} + 0.5 \quad (11)$$

$$= 2 \quad | \quad - \quad | : \quad (12)$$

$$= \quad : \quad (13)$$

мұнда  $Nu$  – Нуссельт саны;

$Pr$  – Рейнольдс саны;

- плазмалық ағыстың динамикалық тұтқырлығы, %.

$$= -\sum \rightarrow \quad (14)$$

$$= -\sum \quad (15)$$

$$= \frac{\quad}{\quad} \quad (16)$$

мұнда  $S_v S_H$  - плазмалық ағыс жылуының жергілікті мәні және плазмалық ағынның бөлшектермен өзара әрекеттесуі есебінен механикалық импульстің жоғалуы  $K$

$b$  – берілген уақыт кезіндегі бөлшектер саны, дана;

– плазмалық ағынның көлемі, м ;  $n_i$  – біртекті бөлінген бөлшектер санының бүтін бөлігі, дана.

Жоғарыда келтірілген теңдеулер бөлшек жылдамдығын, оның траекториясын, бөлшектегі температурасының радиалды таралу кинетикасын және булану кезіндегі массалық шығынын есептеуге мүмкіндік береді.

Бұлардың бәрі параметрлері материал құрамына, бөлшектердің бастапқы температурасына және диаметріне, плазмалық ағынына бөлшектерді енгізу шарттарын және беру жылдамдығына байланысты есептеледі [96].

Қабылдап алынған сфералық пішіні ұнтаққа аддитивті өндірісі үшін қажетті қасиеттерін береді.

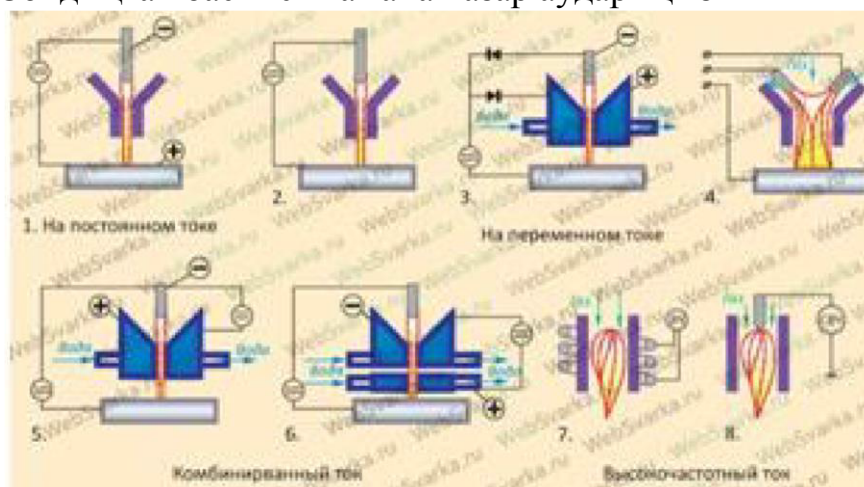
Оларға мыналар жатады, аққыштығын жақсартуы болады. Бұл дегеніміз, сферодизация ұнтақтың біртекті сусымалдығын қамтамасыз етеді, бұл бұйымды құру аумағына беру жылдамдығын дәл бақылауға мүмкіндік береді. Әрбір алынған бөлшектің ішкі қуыстарын және жарықтарын жоюы жүзеге асады, сусымалдық тығыздығы көбейеді, осының бәрі жалпы қаттылығын арттырады. Плазмамен өңделген бөлшектердің макроскопиялық беті тегіс болады, бұл осының арқасында газбен тасымалдауы кезінде агрегацияланбайды және ластанбайды. Ұнтақ тазалығы артады, бұл көптеген зиянды қоспаларын жояды плазманың жоғары температурасына байланысты жүзеге асады [97].

Алдында айтылғандай бөлшектердің сфералық пішінің қалыптасу процесіне көптеген факторлар әсер етеді. Нәтижесінде біз аддитивті технологиялар үшін әр түрлі металдардан берілген қасиеттерімен сфералық ұнтақтар өндіруге болатын технологиясын аламыз. Бұл сөзсіз сфероидизацияның дәстүрлі белгілі технологиялар алдында көптеген артықшылықтарына ие [10].

### 3 Плазмотрондардың классификациясы

#### 3.1 Тоқ сипаты бойынша

Тоқ сипаты бойынша плазмотрондар ең көп сан нұсқаларымен ерекшеленеді. Сондықтан бастысына ғана назар аударыңыз



## 16 – сурет – Тоқ түрлеріне баланысты плазмотрондардың классификациясы

Металды өңдеуге арналған плазматрондардың басым көпшілігі тікелей полярлықты тұрақты тоқта орындалады (1-схема). Бұл, ең алдымен, доғаның физикалық ерекшелігіне байланысты, яғни катодтан қарағанда, доға анодында көп жылу бөлінеді. Плазматрон электродында шығарылған жылу қуаты балқу электродының пісіру доғасынан айырмашылығы тек пайдалы емес, сонымен қатар зиянды. Ең төменгі жылу жүктемесін катод болып келетін электрод тасымалдайды.

Мынаны ескеруіміз қажет, айнымалы токта лантенизацияланған вольфрамды электродтағы ең жоғары рұқсат етілген ток жүктемесі шамамен екі есе, ал тікелей ток пайдаланған кезде кері полярлықта тікелей полярлықтан салыстырғанда он есе төмен болады деп айту жеткілікті. Сондықтан, тұрақты ток плазмотрондары жоғары қуатты тиімділігіне ие.

Интенсивті қысылған доғаның бағанасы электрод осі бойынша және плазматрон шүмегі бойынша қатаң тұрақтандырылуы керек. Электродтың полярлығы өзгергенде, бұл тұрақтандыру бұзылады, сондықтан тікелей айнымалы доғаға қарағанда, айнымалы доғаны қысу қиынға соғады. Тұрақты ток плазматрондардың айнымалы ток плазматрондарымен салыстырғанда маңызды артықшылығы ретінде - доғаның жану тұрақтылығы. Нөл арқылы токтың өтуі доғаның сөндірілуіне әкелуі мүмкін, сондықтан әдетте айнымалы токпен қуат көзінің кернеуі доғаның жұмыс кернеуінен екі есе артық болады.[11]

Плазматрондарды тікелей токпен қоректендіру кезінде, ид/ихх қатынасын 0.80.9 тең болатындығын көрсетеді. Демек, бірдей доғалық қуаттарында орнатылған қуат пен тұрақты ток көзінің өлшемдері айнымалы ток көзінің күші мен өлшемдерінен аз болады. Сонымен қатар тұрақты ток көзі үш фазалы желінің біртекті жүктелуін қамтамасыз етеді.

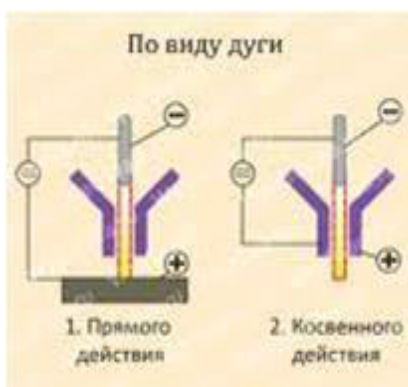
Бұрын болған тұрақты токты түзету мәселесі, қазіргі кезде іс жүзінде, бұл электрөнеркәсібінің қуатты шағын жартылай өткізгіш шұраларды құру және өндіру арқылы шешілген. Айнымалы және тұрақты ток плазмалық кондырғыларын пайдалануға кететін бастапқы шығындары шамамен тең. Сондықтан, материалды өңдеу процестерінің көпшілігі үшін назарға жоғарыда аталған артықшылықтарын ескере отырып тұрақты ток плазмотрондарын қолданылуы ұсынылады. Айнымалы ток плазматрондары бірқатар жағдайларда процестің технологиялық талаптарына байланысты қолданылады.

Мысалы, алюминий қорытпаларын плазмалық дәнекерлеуін айнымалы ток арқылы жүргізу қажет, өйткені кері полярлық кезеңдерінде катодты тозаңдату әсерінен металл балқыуының қалыпты процесіне кедергі болатын, алюминий тотығының қабықшасы күйрейді. Плазмалық балқу кезінде бірнеше қуатты тұрақты ток плазматрондардың параллельді жұмыс жағдайында жалпы

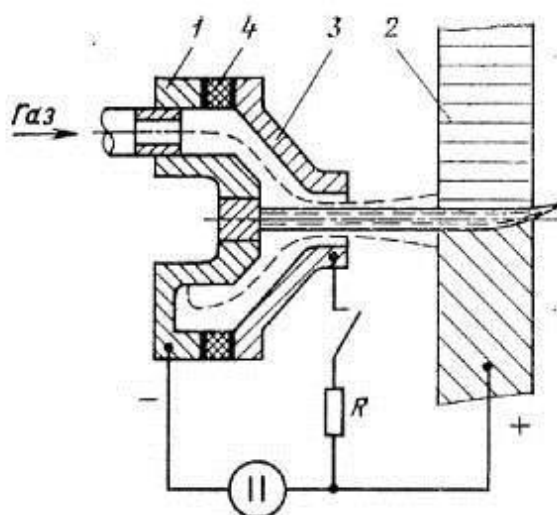
ваннаноқта доғалар арасында қиын жойылатын магнитті өзара серлесуі пайда болады. Сондықтан, бұл жағдайда айнымалы ток плазмотрондар пайдалануға болады. Бұл жағдайда, үшке еселі плазматрондар пайдалану ұсынылады, ол үш фазалы желінің біркелкі жүктеуін қамтамасыз етеді.

Айнымалы ток плазмотрондарының үш негізгі сұлбасын қарастырайық. 2 және 3 схемаларында – плазмотрондар бір фазалы трансформатордан көректенеді. 3 схемада шұрананың ток коммутациясы жүзеге асады, бұдан электрод тек катод сияқты жұмыс жасайды (тура поляряк жарты циклінде), ал шүмек анод ретінде (кері полярлығы кезінде жарты циклінде). Мұндай схемада вольфрам электродының жоғары кедергісі қамтамасыз етіледі. Алайда, ток өсуімен шүмек жұмысының шарты нашарлайды, ал токпен жұмыс істеу кезінде анықталған шегінен төмен болады (~ 150) доғаның жану тұрақтылығы бұзылады.

### 3.2 Доға түрі бойынша



17 – сурет – Доға түрі бойынша плазматрондардың жіктелуі



18 – сурет – Тікелей әсер ететін плазматрон сұлбасы

#### Тікелей әрекетті плазматрон

Плазмалық доға бағанасы бірден металл қабатына енеді және ол оттегімен кесуінен салыстырғанда металды тұтану температурасына дейін қыздыру уақытын талап етпейді. Плазманың жоғары температурасына байланысты металдың жергілікті балқытуы, тіпті кесу сызығының бойында булануы орын алады, сондай-ақ оны қысылған ағын өрісімен үрлеп шығарады.

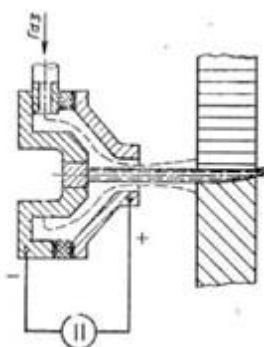
Барлық плазмотрондарды екі негізгі топқа бөледі: анодтың не болатынана қарай - өнім немесе шүмекке байланысты. Төменде келтірілген суретте 1 электрод катод болады, ал өңделетін 2 - анод болып табылады. 3 шүмек тікелей әсер ететін сұлбаларында электрлік бейтарап болып табылады және доғаны қысу және тұрақтандыру қызметін атқарады. Электрод шүмектен оқшаулағыш 4 төсенішпен бөлінеді. Доғаның тұрақтандырылуы, жұмыс газ бөлігінің ағынымен қамтамасыз етіледі, сонымен қатар, катод бойымен өтетін доғалық бағанашықтардың сыртқы бетін тазартады және шүмек арқылы шығады. Газды тұрақтандырудың осы нұсқасын аксиалды деп аталады. [12]

Төмендегі суретте құйынды тұрақтандырудың нұсқасы көрсетілген, мұнда газды тангенсті орналасқан тесік арнасы бойынша түседі және спираль бойынша доға бағанасын тазалайды. Құйынды тұрақтандыруды доғаның ең үлкен қысылуын қамтамасыз етеді, сондықтан ол жиі кесу үшін плазматрондарда қолданылады. Газ плазматрондарымен қатар күрделі плазматронды қондырғыларда доғаны сумен тұрақтандыруды қолданылады. Электрод пен шүмек арасындағы жұмыс доғасын қозғау үшін, қосалқы (күзетті) доғаның қозғалуы әдетте шекті кедергі арқылы сол көзден беріледі. Анодтың кезекші доғасына тигеннен кейін – бұйым өшіп, жұмысшы доғасы автоматты түрде жанады.

#### Жанама әрекетті плазмотрон

Жанама әрекет доғасы бар тізбектерде анод ретінде – шүмек болады. Плазманың ағыны шүмектен камераға жеткізілетін жұмыс газының кинетикалық энергиясы арқылы жүзеге асырылады. Тікелей әрекетті доғасы бар плазматрондарынан салыстырғанда, доғаның электр бағанасы плазмалық ағынмен біріктірілген, ал жанама әрекетті плазмотрондарында жылу энергиясы бұйымға тек қыздырылған плазмалық ағын арқылы беріледі.

Жанама әрекетті плазматронның өңделетін бұйымымен электрлік түрде байланыспағандығынан, электрод өткізбейтін материалдарды кесу үшін пайдалануға болады.



Плазматронның көректенуі көбінесе тік полярлығымен тікелей ток көздерінен жүзеге асырылады.

Плазманы қалыптастыру үшін жұмыс газдары ретінде газдың табиғи немесе жасанды қоспаларының негізгі төрт түрін пайдаланылады: аргон, азот, сутегі және оттегі. Плазма ағынының меншікті жылу құрамдылығы жұмыс газының меншікті жылусыйымдылығынан немесе оның құрамдас бөлігінің қоспасынан байланысты:  $J = CT, J / g$ , мұнда  $C$  - температура  $T$ ,  $C$  кезінде газдың меншікті жылусыйымдылығы, Дж/г.

Сутегі мен сутек құрамды қоспалардың жоғары жылу сыйымдылығына байланысты плазма ағынының максималды энергиясын және басқа газдармен салыстырғанда ең жоғары кесу жылдамдығын қамтамасыз етеді. Алайда, жоғары жарылғыштығы, тасымалдау қажеттілігін және баллондарын қолдануы сутегі құрамдас газдарда кесуді пайдалануын шектейді.

### **3.3 Плазмалық шаңдату плазматрондары**

Плазмалық шаңдатуда плазма құратын газ плазматронда қыздырылады және шүмек арқылы жеделдетіледі. Қыздырылған газ ағынына шаңдатылған материал ұнтағын енгізіледі, ол плазма ағынымен қыздырылады және жеделдетіледі, содан кейін ол жабынды қабатын қалыптастырады өңделетін бетке кіреді. Қаптама балқытылған бөлшектермен қалыптасады, олар бірбіріне түптөсем бетіне дәнекерленеді. Қаптаманың сапасы түптөсемге соққы кезінде бөлшектердің қызу дәрежесіне және олардың жылдамдығына айтарлықтай байланысты болады, сондай-ақ бұл шаңдататын материалдың жылу қасиеттері арқылы плазматроннан шығу кезінде плазманың жылдамдығы, температурасы және жылу өткізгіштігі, анықталады.

Шаңдату үшін түрлі балқитын материалдар пайдаланылады - вольфрам, молибден және басқалары, алюминий, цирконий, кремний, титан оксидтері, карбидтер, боридтер, тантал нитраты, кремний, ниобий, гафний және басқалары үшін. Кейбір жағдайларда, шаңдату үшін материал ретінде сым қолданылады, ол плазманың ағынына жіберіледі, ериді, плазма ағынында шашырайды, ал тамшылары тездетіледі және шашылған бетіне бүркеледі.

Шаңдату үшін плазматрондары, әдетте, 100 кВт-тан астам қуаты, көбінесе 20 ... 30, плазма құратын газдар ретінде аргон, азот, гелий бар аргон қоспалары пайдаланылады. Кейбір жағдайларда ауа пайдаланылады. Плазма құрайтын газды және плазма температурасын таңдауы шаңдалатын материалдың қасиеттерімен анықталады, жабынның сапасына және оның қолайлы құнына қойылатын талаптар. Қоспаларды плазматрон қуатын арттыруға және плазманың жылу өткізгіштілігін арттыру үшін қолданылады.

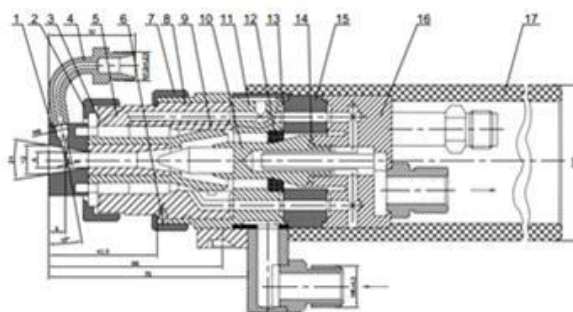
Шашыратылған материалға ұнтақ немесе сым түрінде плазма ағынын енгізеді, ол плазмалық ағында ериді және шашырайды. Ұнтақты, әдетте,



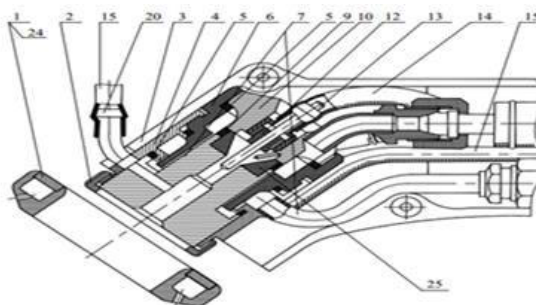
тасушы газ ағынымен анод немесе шүмек каналының шығу тесігіне енгізіледі. Енгізу орнын балқу температурасына жетудің уақыты жоқ болу үшін плазматронның ұнтақ бөлшектерінің жолында таңдалады. Әйтпесе, балқытылған бөлшектер арнаның қабырғаларына жабысып, тамшыларды қалыптастырады және процесті бұзады.

Сым қолданылған жағдайда оған анодтық потенциал қолданылады, ол балқуды жеңілдетеді және процестің жалпы тиімділігін арттырады. Бүрку кезінде газды тұрақтандыру разрядымен плазмотрондардағы болатын ағым температурасы жеткілікті, сондықтан әдетте газды тұрақтандыру схемаларын пайдаланылады және жиі бекітілген доғаның ұзындығымен - кесінді немесе МЭА арқылы қолданады.

Бүркуге арналған плазматрондар әдетте жоғары ток және төменгі кернеу болып табылады, олардың көмегімен дәнекерлеу қуат көздері 75 ... 150 В болады. Разряд орнықтылығы үшін бүйірлі катодтарды қолданылады. Әдетте плазматронда газдың осьтік кірісі қолданылады - плазмалық ағынның осіне айналған бөлшектерді ұстап тұру үшін қажет болады.



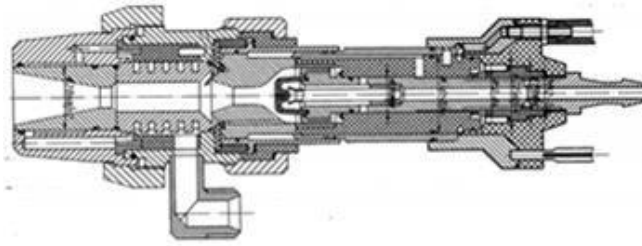
20 – сурет – Бүркуге қажетті плазматрон



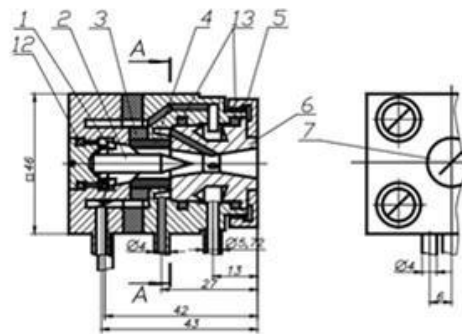
21 – сурет – Плазматрон ГН – 5 разрядты шектеп тұрақтандыруымен.

Разряд аумағына ұнтақты енгізу. Плазматроннан шығу кезінде ағын айналасындағы бейтарап газды беру саптама орналасқан.

Бүркуге арналған плазматрондар ұнтақ материалдарды плазмамен өңдеу үшін қолданылады - бөлшектердің сфероидалуы (біріктірілуі), ұнтақ бөлшектерінің бетін тазалау және т.б. Атап айтқанда, осындай плазматрон бетон бетіне сәндік жабындарды енгізу үшін қолданылады тұрады.



22 – сурет – Плазматрон ПЛУН-1



23 – сурет – Асадыбысты шүмегімен плазматрон

Қондырғы плазмалық газды өткізу үшін 2 газ арнасына, құйынды газ үшін арнасына, сонымен қатар бақылаушы газ арнасына ие болады.

### ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жобада ұнтақты металлургияны дамытудың перспективалы бағыттары, ұнтақты және композициялық материалдарды қолдану салалары қарастырылды және негізгі мәселелер анықталды. Олардың арасында: ұнтақты материалдардың жоғары құны, көптеген техникалық міндеттерді шешу кезінде олардың кең қолданылуын шектейтін және ұнтақты алу кезінде оның қасиеттерін реттеу күрделілігі, қолданыстағы жабдықтың жеткіліксіз жұмыс істеу тиімділігіне байланысты.

Жобада ұнтақты балқымаларды диспергирлеу арқылы алудың ең көп таралған әдістеріне талдау жүргізілді және олардың әрқайсысының қажетті өнімділікке және ең аз энергия шығынына жеткенде ұнтақ сапасына қойылатын қазіргі заманғы талаптарды қамтамасыз ету үшін мүмкіндіктері анықталды (дисперсиялығы, химиялық және гранулометриялық құрамның біртектілігі, бөлшектер формалары және т.б.). Бұл тұрғыда тиімділігі тозаңдату торабының жұмысына байланысты плазмалық атомдау әдісі неғұрлым перспективалы екені анықталды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Дудихин Д.В. Применение плазменной обработки для производства специализированного металлического порошка. Материалы 24-й межвузовской (Региональной) научной студенческой конференции «Интеллектуальный потенциал Сибири» - Новосибирск: Изд-во НГТУ, - 2017. С. 130-135.

2 Sanin V.N., Yukhvid V.I., Merzhanov A.G. The influence of high-temperature melt infiltration under centrifugal forces on SHS processes in gasless systems // International Journal Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2002, Vol. 11, Number 1, pp. 31-44.

3 Sanin V.N., Yukhvid V.I., Merzhanov A.G. The effect of gravity on SHS in elemental and thermite systems // Abstracts of Centrifugal Materials Processing, Fourth International Workshop on Materials Processing at High Gravity, Clarkson University, Potsdam (NY), USA, 29 May-2 June 2000.

4 Cotton J.D., Noebe R. D., Kaufman M. J. NiAl-Rich Portion of the NiAl-Cr pseudobinary eutectic system // Journal of Phase Equilibria, 1993, vol. 15, No 5, pp. 579-582.

5 Свойства элементов. Справочник п/р М.Е. Дрица. М., Metallurgy, 1985.

6 Bei H., George E.P. Microstructures and mechanical properties of a directionally solidified NiAl-Mo eutectic alloy // Acta Materialia 53 (2005) 69-77.

7 Smallman R.E., Ngan A.H.W. Modern Physical Metallurgy, (2014) 8th Revised edition / Butterworth-Heinemann Ltd (Verlag) (ISBN 978-0-08-098204-5 )

6 Gizatulin R.A., Kozyrev N.A., Saprykin A.A., Sheshukov O.Y., Dudikhin D.V. Nitrogen Alloying of Steel by Blowing in the Ladle through Bottom and Submersible Tuyeres // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 14-

8 Saprykin A.A., Babakova E.V., Ibragimov E.A., Dudikhin D.V. Prospects of Creating Products Using Selective Laser Sintering // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 608-611

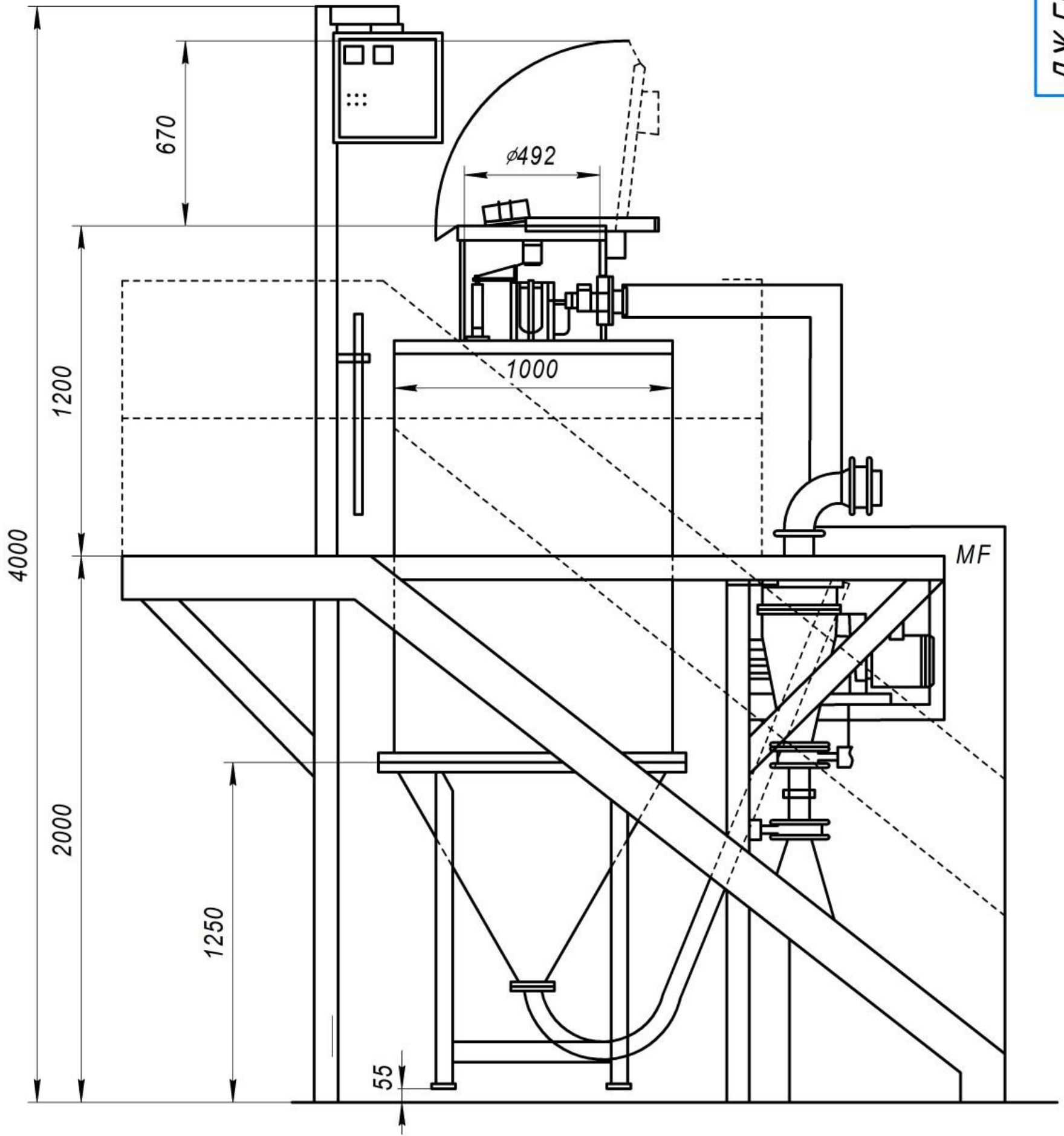
9 Saprykin A.A., Ibragimov E.A., Babakova E.V., Dudikhin D.V., Sharkeev Y.P. Forming a single layer of a composite powder based on the Ti-Nb system via selective laser melting (SLM) / International Seminar on Interdisciplinary Problems in Additive Technologies Tomsk, 16-17 December 2015. p. 1-9.

10 Сапрыкин А. А., Бабакова Е. В., Дудихин Д. В. Материалы, используемые в селективном лазерном спекании // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XII-ой Международной научно – практической конференции; в 4-х томах, Курск, 19-20 Марта 2015. - Курск: Юго-Зап. гос. унт, 2015 - Т. 4 - С. 42-46

11 Дудихин Д. В. Металлические порошки в аддитивных технологиях //Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI

Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 9-11 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - С. 41-43

ДЖ.5В01200.19.001



Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Взг. Бет	Құжат №	Қолы	Күні
Орындаған	Кенесбеков Е.		
Тексерген	Арымбеков Б.С.		
Т.бақылау	Карпеков Р.К.		
Н.бақылау	Карпеков Р.К.		
Бекітілген	Арымбеков Б.С.		

ДЖ.5В01200.19.001

Атомайзер

Литер	Масса	Масштаб
		1:1
Парақ	Парақтар 1	

ҚазҰЗТУ

ДЖ.5В01200.19.002

Перв. примен.

Справ. №

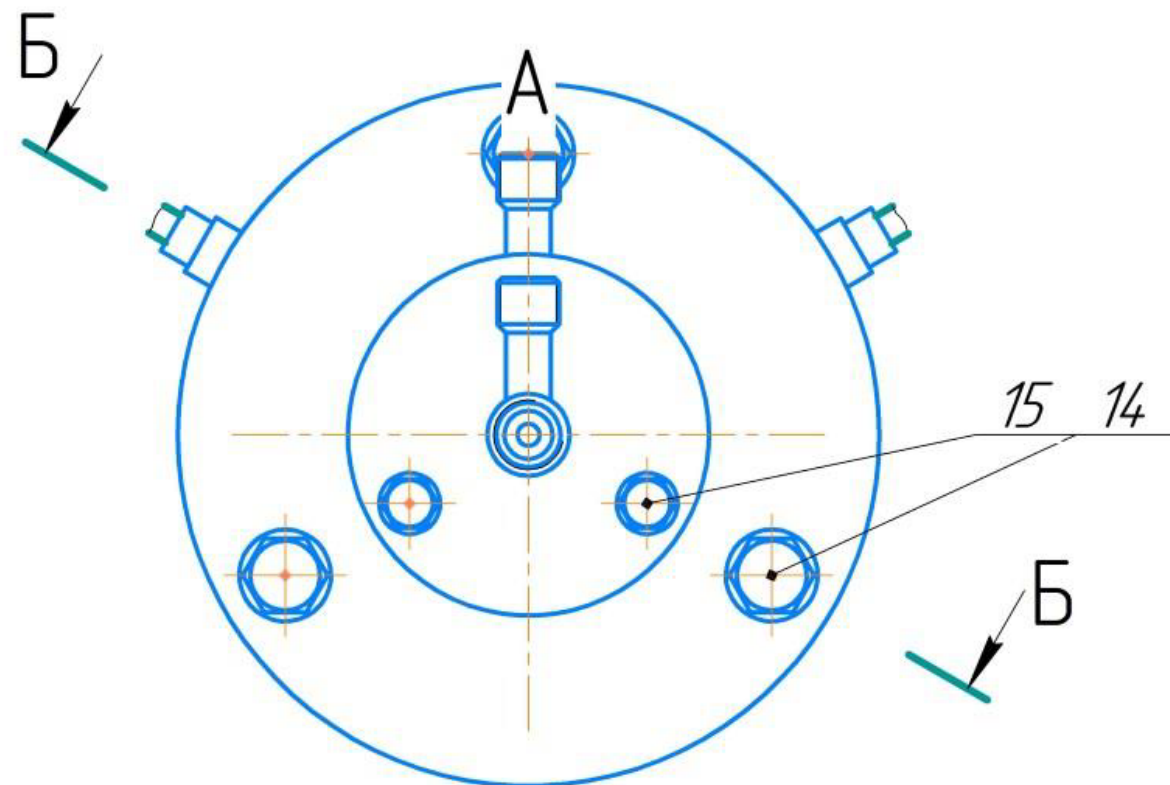
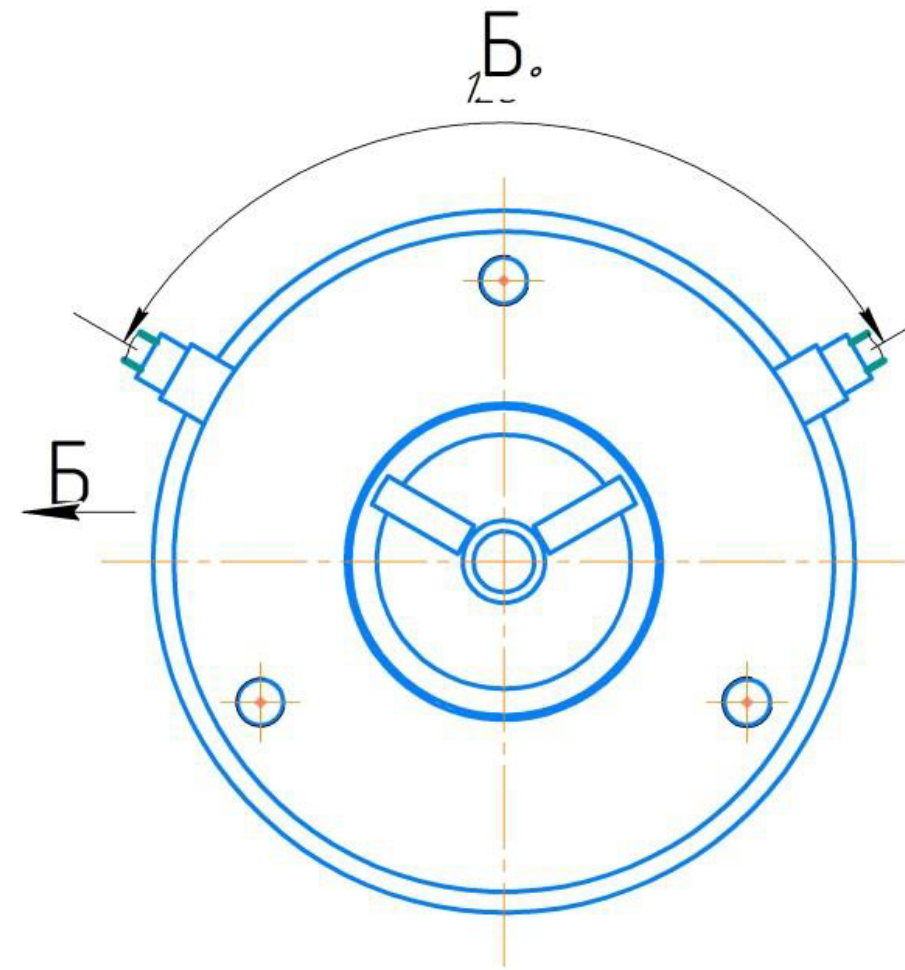
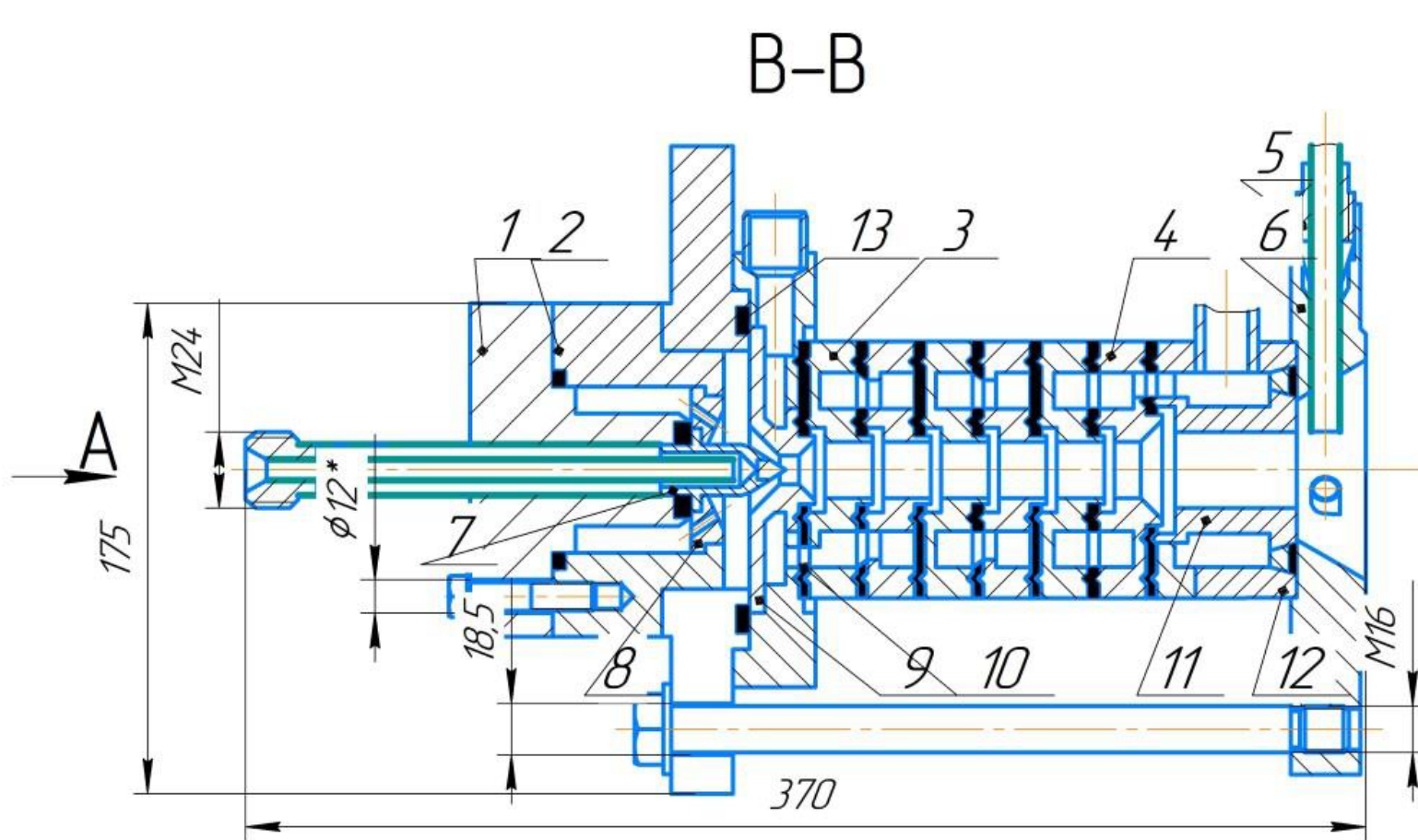
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



					<b>ДЖ.5В01200.19.002</b>			
взг.	Бет	Құжат №	Қолы	Күні	<b>Плазматрон</b>	Литер	Масса	Масштаб
Орындаған	Кенесбеков Е.							1:1
Тексерген	Арымбеков Б.С.							
Т.бақылау	Карпеков Р.К.					Парақ	Парақтар	1
Н.бақылау	Карпеков Р.К.					<b>ҚазҰЗТУ</b>		
Бекітілген	Арымбеков Б.С.					Формат А3		

Копировал

Формат А3