

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2024_1_270

MFTAA 55.22.29

З.Г. Файзрахманов¹, С.Г. Войнарович¹, Н.В. Прохоренкова²¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

E-mail: qwcezx@gmail.com*

E-mail: nadin_kaz@mail.ru

²Е.О. Патон атындағы Электр дәнекерлеу институты, Киев қ., Украина

E-mail: serge.voy@gmail.com

**ШАҒЫН ӨЛШЕМДІ БӨЛШЕКТЕРДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН
ГАЗОТЕРМИЯЛЫҚ БҮРКУ ӘДІСТЕРІ****МЕТОДЫ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ****METHODS OF GAS THERMAL SPRAYING FOR THE RESTORATION
OF SMALL-SIZED PARTS**

Аңдатпа. Бұл мақала шағын өлшемді бөлшектерді қалпына келтіру үшін газотермиялық бүрку әдісін қолдануға арналған. Бөлшектерді қалпына келтіру жөндеу өндірісінің тиімділігін арттырудың негізгі көздерінің бірі болып табылады. Бөлшектерді қалпына келтірудің тиімді әдісін таңдау жөндеу өндірісін ұйымдастыруды жетілдірудің маңызды міндеті болып табылады.

Мақалада жабдықтың сипаттамалары мен микроплазмалық бүрку әдістеріне талдау жасалды. МПН-004 қондырғысын қолдана отырып, микроплазмалық бүрку процесінің ерекшеліктері көрсетілген. Сондай-ақ, ДИМЕТ орнату жұмыстарының мысалы келтірілген.

Түйін сөздер: микроплазмалық бүрку, суық газдинамикалық бүрку, жабындар, шағын өлшемді бөлшектер, жөндеу.

Аннотация. Данная статья посвящена использованию метода газотермического напыления для восстановления малоразмерных деталей. Восстановление деталей является одним из основных источников повышения эффективности ремонтного производства. Выбор эффективного способа восстановления деталей является важной задачей совершенствования организации ремонтного производства.

В статье проведены анализы характеристик оборудования и методов микроплазменного напыления. Показаны особенности процесса микроплазменного напыления с использованием установки МПН-004. Так же приведен пример работ с установкой ДИМЕТ.

Ключевые слова: микроплазменное напыление, холодное газодинамическое напыление, покрытие, малоразмерные детали, ремонт.

Abstract. This article is devoted to the use of the gas thermal spraying method for the restoration of small-sized parts. The restoration of parts is one of the main sources of increasing the efficiency of repair production. Choosing an effective way to restore parts is an important task of improving the organization of repair production.

The article analyzes the characteristics of equipment and methods of microplasma spraying. The

features of the microplasma sputtering process using the MPN-004 installation are shown. An example of work with the DIMET installation is also given.

Keywords: microplasma spraying, cold gas dynamic spraying, coatings, small parts, repairs.

Kіріспе. Газотермиялық бүрку – бұл субстратта қажетті материалдың қабатын қалыптастыру үшін газ немесе плазмалық ағынмен бүріккіш материалдың конденсацияланған бөлшектерін жылыту, дисперсиялау және тасымалдау процесі.

Жалпы атаумен газотермиялық бүрку келесі әдістерді біріктіреді: газ жалынымен бүрку, жоғары жылдамдықты газ жалынымен бүрку, детонациялық бүрку, плазмалық бүрку, балқытылған бүрку, электр доғасын металдандыру және белсендірілген электр доғасын металдандыру.

Негізгі бөлігі. Бөлшектерді қалпына келтіру жөндеу өндірісінің тиімділігін арттырудың негізгі көздерінің бірі болып табылады. Бөлшектерді қалпына келтірудің сапасы мен тиімділігі көбінесе ақаулықтарды жою әдістерінің жөндеу объектілеріне сәйкестігіне байланысты. Көптеген зақымдарды бірнеше жолмен жоюға болады, бірақ практикалық қолдану үшін техникалық мүмкін және экономикалық тұрғыдан ең қолайлы біреуін таңдау керек. Белгілі бір әдісті таңдау бөлшектің материалына, зақымдану дәрежесі мен сипатына, материалдың қалыңдығына, технологиялық талаптарға, өндірістік-техникалық базаның жабдықталуына, экономикалық ойларға және басқа да бірқатар факторларға байланысты. Осылайша, бөлшектерді қалпына келтірудің тиімді әдісін таңдау жөндеу өндірісін ұйымдастыруды жетілдірудің маңызды міндеті болып табылады.

Соңғы зерттеулерді талдау және тапсырма қою. Қазіргі уақытта жөндеу өндірісінде жабындарды газотермиялық бүрку (МТН) процестері кеңінен қолданылуда. Дегенмен, бірқатар бөлшектерді қалпына келтіру үшін дәстүрлі МТН жабдығын пайдалану әрқашан орынды бола бермейді. Сонымен, шағын өлшемді бөлшектерді (5 мм 10 мм және одан аз), тар жиектерді немесе жолдарды бүрку үшін 30...60 кВт плазмалық қондырғыларды қолдану бүріккіш материалдың үлкен шығындарына және бүркуге жатпайтын жерлерді бүркемелеудің қосымша операцияларын енгізу қажеттілігіне әкеледі. Сонымен қатар, плазмалық ағынның жеткілікті жоғары жылу қуаты олардың қызып кетуі мен Майысып қалу қаупіне байланысты шағын өлшемді бөлшектер мен жұқа қабырғалы бөлшектерді бүрку кезінде осындай плазмотрондарды қолдануға кедергі келтіреді. Аталмыш кемшіліктерді болдырмау үшін АТЖ-да әзірленгендер мүмкіндік береді. Е.О. Патон (Украина) микроплазмалық бүрку әдісі (МПН).

Плазмалық бүркуге балама ретінде Обнин ұнтақ бүрку орталығы шығаратын димет портативті жабдығын пайдалана отырып, суық газдинамикалық бүрку (ХГН) әдісімен де беттің жергілікті жерлеріне жабындарды жағуға болады.

Негізгі материалдың мәліметтері. ИЭС микроплазмалық бүрку әдісін іске асыру үшін. Е.О. Патон (Украина) эрозияға төзімді кірістірілген, тікелей салқындатылған анодпен микроплазмотрон жасалды. 1990-1995 жылдар аралығында конструкторлық және технологиялық жұмыстар кешені орындалды, нәтижесінде бірқатар микроплазмалық бүрку қондырғылары жасалды (МПН-001, МПН-002, МПН-003). Соңғы буын МПН-004 микроплазмалық бүріккіш қондырғысы суды салқындату қондырғысы бар қуат көзін, басқару блогын, айналмалы салқындатылатын анодты микроплазмотронды қамтиды (микроплазмотрон дизайнына патент алынды) [1], сондай-ақ ауыстырылатын сым беру механизмі және ұнтақ диспенсері (1-сурет, 1-кесте).

Әзірленген МП-004 микроплазмотронының қуаты 2,5 кВт-қа дейін, ұнтақтарды

да, сымдарды да бүрку үшін бастапқы материалдар ретінде пайдалануға болады.

Микроплазмалық бүрку процесінің ерекшелігі-плазма түзетін газ аргондын қолдана отырып, ағынның ламинарлы ағу режимінде жабындарды қолдану мүмкіндігі.



1-сурет. МПН-004 микроплазмалық бүрку қондырғысының сыртқы түрі

1-кесте. МПН-004 микроплазмалық бүрку қондырғысының сипаттамасы

Жұмыс және қорғаныс газының құрамы	Аргон
Жұмыс газының шығыны, л/мин	0,5...5,0
Қорғаныс газының шығыны, л/мин	1,0...10,0
Қуаты, кВт	2,5 дейін
Ток күші, А	10...60
Кернеу, В	20...40
Ұнтақ шығыны, кг/сағ	0,25...2,5
Сым шығыны, кг/сағ	0,1...0,6
Сым беру жылдамдығы, м/мин	1,0...6,0
Материалды пайдалану коэффициенті, %	0,6...0,9
Бүріккіш дақтың диаметрі, мм	1...8
Автономды суды салқындату жүйесі бар қуат көзі өлшемдері, мм	500×180×650
салмағы, кг	30
Газ пульті өлшемдері, мм	470×180×400
салмағы, кг	7

Плазмотрон салмағы, кг	1,2
Шу деңгейі, дБ	30...50

Осыған байланысты, сондай-ақ микроплазмотронның дизайнына байланысты МПН процесі келесі ерекше сипаттамаларға ие:

- ламинарлы плазмалық ағынның ашылу бұрышы небәрі 2...6 (турбулентті плазмалық ағындар үшін 10...18 орнына) және саптаманың диаметрі кішкентай (1 мм 2 мм немесе одан аз) болғандықтан, бүріккіш дақтың мөлшерін 1 мм 8 мм-ге дейін азайтуға болады;

- микроплазмалық ағынның төмен жылу қуаты негіздің қызуын азайтуға мүмкіндік береді, бұл шамадан тыс жергілікті қызып кетусіз және майыспастан шағын өлшемді өнімдер мен жұқа қабырғалы бұйымдарға жабын жағуға мүмкіндік береді;

- шығарылатын анодпен микроплазмотронды қолдану бүріккіш материалды тікелей доғалық разрядқа, плазмалық ағынның ең жоғары температуралық аймағына жеткізуге мүмкіндік береді, бұл Al_2O_3 , ZrO_2 , W , та сияқты отқа төзімді материалдарды қолдануға мүмкіндік береді;

- қорғаныш газ-аргон ағынын қолдану бүріккіш материалдың тотығу дәрежесін төмендетуге мүмкіндік береді;

- ламинарлы плазмалық реактивті дыбыс деңгейі төмен (30...50 дБ), бұл микроплазмалық бүріккіш жабдықты арнайы дыбыс өткізбейтін камерасыз пайдалануға мүмкіндік береді;

- жабдық өзінің салқындату жүйесінің болуына байланысты жоғары ұтқырлыққа ие. Орнату үшін сізге 1 цилиндр Сығылған аргон және 220 В (380 В), 50 Гц айнымалы ток желісі қажет.

ИЭС-те жинақталған. Е.О. Патон (Украина) және Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінде микроплазмалық бүрку тәжірибесі осындай әдіспен металдардан (Al, Cu, Ni, Ti, W, Mo, Ta және т.б.) жабындардың кең ауқымын қолдану мүмкіндігін көрсетеді.), Al -, Cu -, Fe -, Co -, Ni-қорытпалар; оксидтер (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2); карбидтер (WC, Cr_3C_2); биокерамиктер (гидроксипатит, трикальций фосфаты) [2-19]. Ұнтақтарды да, сымдарды да бүрку үшін бастапқы материалдар ретінде пайдалануға болады.

МПН-де бүріккіш материалды пайдалану коэффициенті 60 құрайды ... 90 %.

Жабындарды микроплазмалық бүрку әдісі мыналарды жүзеге асыруға мүмкіндік береді:

- біліктерді, оның ішінде шағын диаметрлі біліктерді қалпына келтіру (2...5 мм);
- мойынтіректерге арналған орындарды қалпына келтіру;
- бекіту жазықтықтарының ақауларын жою;
- сырғанау мойынтіректерінің үйкеліске қарсы қабатын қалпына келтіру;
- әртүрлі бұйымдардағы бетінің зақымдануын жергілікті жөндеу (соның ішінде сыйымдылықтардың эмаль жабындарының жергілікті Ақауларын жөндеу) және т.б.

Жөндеу өндірісінен басқа, микроплазмалық бүрку жабдықтары мен технологиясы медицинада (эндопротездерге арналған жабындар), Аспап жасау мен электротехникада (электр оқшаулағыш және ток өткізгіш жабындарды жағу), химия және тамақ өнеркәсібінде (химиялық төзімді жабындарды жағу), Тұрмыстық техника өндірісінде және т.б. пайдалануға қызығушылық тудыруы мүмкін.

Шағын өлшемді бөліктерде жабындарды қалыптастырудың және жергілікті беттік аймақтарды қалпына келтірудің тағы бір нұсқасы суық газдинамикалық бүрку әдісі болып табылады [20-22]. Суық газдинамикалық бүрку (ХГН) (ағылш. Cold Spray) металл

жабындары-бұл жоғары жылдамдықты (дыбыстан жоғары) газ ағынымен секундына бірнеше жүз метр жылдамдыққа дейін жеделдетілген, өңделетін бөліктің бетімен суық (температурамен, балку температурасынан едәуір төмен) металл бөлшектерінің соқтығысуы кезінде металл жабындарын қалыптастыру процесі.

Балқытылмаған металл бөлшектері субстратқа соғылған кезде олардың пластикалық деформациясы пайда болады және бөлшектердің кинетикалық энергиясы жылуға және ішінара субстратпен байланыс энергиясына айналады, бұл тығыз оралған металл бөлшектерінің қатты қабатының пайда болуын қамтамасыз етеді.

Газдинамикалық әдіспен жабу технологиясы Сығылған газды (ауаны) қыздыруды, оны дыбыстан жоғары саптамаға беруді және осы саптамада дыбыстан жоғары ауа ағынын қалыптастыруды, ұнтақ материалдың осы ағынына жеткізуді, саптамадағы осы материалды дыбыстан жоғары ауа ағынымен жеделдетуді және оны өңделетін өнімнің бетіне бағыттауды қамтиды.

ХГН негізгі ерекшеліктері:

- бөлшектер мен субстрат металдарының қызуы мен тотығуының, деформациялардың, металл құрылымының өзгеруінің болмауы (субстраттың температурасы 100-150 °С-тан төмен ;

- бүріккіш бөлшектердің ағыны тар бағытталған және көлденең қимасы аз;

- зиянды және агрессивті газдардың, заттардың, сәулеленудің және басқа да қауіпті факторлардың болмауы (жұмыс істеу үшін тек сығылған ауа мен электр энергиясы қажет);

- жабындарды жағудың технологиялық қарапайымдылығы.

Материалдар ретінде металл ұнтақтары, қорытпалар немесе олардың керамикалық ұнтақтары бар механикалық қоспалары қолданылады. Бұл жағдайда жабдықтың жұмыс режимін өзгерту арқылы өнімнің бетіне эрозиялық өңдеу жүргізуге немесе қажетті құрамдардың металл жабындарын қолдануға болады. Режимдерді өзгерту арқылы бүріккіш жабынның кеуектілігі мен қалыңдығын да өзгертуге болады. ХГН-де бүріккіш материалды пайдалану коэффициенті 50 құрайды ... 80 %.

Жөндеу өндірісі жағдайында шағын өлшемді бөлшектерге немесе беттің жергілікті учаскелеріне жабындарды газдинамикалық жағу үшін ДИМЕТ ® сериялы технологиялық жабдықты қолдануға болады. ДИМ ® сериялы портативті жабдық үш модификацияда шығарылады: 402, 403 және 412 модельдер (2-сурет, 2-кесте) және машиналар мен механизмдерді дайындау және қалпына келтіру кезінде металл жабынды қолмен жағуға арналған.



a)



б)



в)

2-сурет. Газдинамикалық бұрку қондырғыларының сыртқы түрі:

а – 404-модель; б – 405-модель; в – 412-модель

2-кесте. Газдинамикалық бұрку қондырғыларының техникалық сипаттамалары

Атауы	404 модель	405 модель	412 модель
Қамту түрі	алюминий, мыс, мырыш, никель, баббит	алюминий, мыс, мырыш, никель, баббит	алюминий, мыс, мырыш, никель, баббит
Энергия тұтыну, кВт	3,3	3,3 кВт	2,9 кВт
Тұтынылатын ауа қысымы, МПа	0,6-1,0 (6-10 атм.)	0,6-1,0 (6-10 атм.)	0,6-1,0
Сығылған ауа шығыны, м ³ /мин	0,4	0,4	0,4
Алюминий негізіндегі қолданылатын жабынның салмағы бойынша өнімділік, г/мин	1-6 (0,3-3 см ³ /мин)	1-6 (0,3-3 см ³ /мин)	1-4 (0,3-2 см ³ /мин)
Температура режимдерінің саны	5	5	2
Ұнтақты қоректендіргіштердің саны	2	2	1
Өлшемдері			
бүріккіш блок, мм	450x64x85	450x64x85	450x64x85
ұнтақты қоректендіргіштері бар сөре, мм	560x260x490	560x260x490	340x260x420
Салмағы			
бүріккіш блок, кг	1,3	1,3	1,3
ұнтақты қоректендіргіштері бар сөре, кг	18	17	9

Трансформацияға қабілетті металл корпусқа орнатылған жылжымалы жинаққа ауа дайындау модулі, бүріккіш бөтелке, бір немесе екі ұнтақ қоректендіргіш, электр коммутация блогы және жабдықтың жұмысын басқару кіреді. Жабдықтың элементтері мен тораптары кабельдер мен пневматикалық шлангтармен өзара байланысты. Қондырғылар диаметрі 5 мм бүріккіш дақ немесе өлшемі 3 × 10 мм тікбұрышты дақ құрайтын ауыспа-лы саптамалық кірістірулері бар дөңгелек және жалпақ саптамалармен жабдықталған.

Қазіргі уақытта алюминий, мыс, мырыш, никель, металл және керамика қоспасынан жасалған жабындардың бірнеше түрі әзірленді. Газдинамикалық әдіспен жабу технологиясы автомобильдің қозғалтқышына, қондырғыларына және корпусына зақым келтіру үшін автожөндеу өндірісінде кеңінен қолданылды.

Жөндеу объектілері, атап айтқанда:

- цилиндр басының коррозиялық зақымдануы, шайылуы және күйіп кетуі;
- цилиндр басындағы, цилиндр блогындағы және агрегаттардағы жарықтар;
- автокөлік кондиционерлеріндегі фреонның ағуы;
- не герметичность радиаторов;
- шанақтарды, сөндіргіштерді жөндеу кезінде жергілікті учаскелерді және дәнекерлен-

ген тігістерді коррозияға қарсы өңдеу;

- подшипник төсектері және т.б.

Жөндеу өндірісінен басқа, ДИМЕТ® сериялы жабдық мыналар үшін қолданылады: дәнекерлеуге астыңғы қабаттарды жағу; металдарға, шыныға және керамикаға электр өткізгіш жабындарды жағу; адгезиялық орнатуды болдырмайтын жабындарды жағу; Тарихи мүсіндік ескерткіштерді коррозиядан қорғау, әйнекті, керамиканы, металдарды көркемдік өңдеу.

Қорытынды.

1. МПН-004 (ИЭС) қондырғысын қолдана отырып, микроплазмалық бүрку процесінің ерекшеліктері көрсетілген. Е.О. Патон, Украина) болып табылады ламинарлы плазмалық ағынның ағу режимі және микроплазмотронның төмен қуаты (2,5 кВт дейін). Бұл бүріккіш дақтың мөлшерін 1 мм 8 мм-ге дейін азайтуға мүмкіндік береді, бұл шашыратқыш материалдың аз шығынымен шағын өлшемді бөлшектерді немесе жергілікті беттерді бүркуді қамтамасыз етеді, сонымен қатар шағын өлшемді бұйымдар мен жұқа қабырғалы бұйымдарды жергілікті қызып кетпестен және майыстырмай жабуға мүмкіндік береді.

2. ДИМЕТ® (Обна ұнтақты бүрку орталығы, Ресей) қондырғыларын қолдана отырып, ХГН негізгі ерекшеліктері: бөлшектер мен субстраттың металды қыздыруы мен тотығуының болмауы, металдардың деформациясы мен құрылымының өзгеруі (субстраттың температурасы 1500С-тан төмен); зиянды және агрессивті газдардың, заттардың, сәулеленудің және басқа да қауіпті факторлардың болмауы (жұмыс істеу үшін тек Сығылған ауа қажет және электр энергиясы); жабындарды жағудың технологиялық қарапайымдылығы. ХГН әдісі алюминий, мыс, мырыш, никель, баббит, металл және керамика қоспасынан жасалған жабындарды қолдану үшін сәтті қолданылады.

3. МПН әдісінің ХГН-ге қарағанда артықшылығы сымнан да, ұнтақтан да жабындарды жағу және материалдардың кең ауқымын пайдалану мүмкіндігі болып табылады: отқа төзімді металдар (Ti, W, Mo, Ta); оксидтер (Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂); карбидтер (WC, Cr₃C₂); биокерамика (гидроксипатит, трикальций фосфаты).

4. Жабдықтың сипаттамаларын және қарастырылған жабын әдістерінің әрқайсысының ерекшеліктерін талдау негізінде микроплазмалық бүрку және суық газдинамикалық бүрку әдістерін материалдың минималды шығыны мен бүріккіш өнімге минималды термиялық әсері бар бұйымдар бетінің шағын өлшемді бөліктерін де, жергілікті бөліктерін де қалпына келтіру үшін қолдану мүмкіндігі көрсетілген. Жөндеу өндірісінде МПН және ХГН әдістерін қолдану кезінде де, жаңа бұйымдар жасау кезінде де жабындарды жағу үшін мүмкін объектілер анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Декл. Пат. UA B23k10 / 00 Плазмотрон для напыления покрытий / Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, А.А. Фомакин, К.А. Ющенко (Украина (UA)); № 2002076032; Заявл.19.07.2002 г. Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
2. Микроплазменное напыление. / К. Шенко, Ю. Борисов, Ю. Переверзев, В. Балакин, Р. Смит // Термическое напыление: текущее состояние и будущие тенденции, материалы 14-й Международной конференции по термическому напылению в Кобе, Япония. – 1995. – С. 273-274.
3. Микроплазменное напыление. / Ю. Борисов, А. Борисова, Ю. Переверзев, П.П.Дж. Рамакерс, С. Войнарович // Материалы 5-й Европейской конференции по передовым материалам и процессам. Нидерланды. – 1997. – С. 237-241
4. Микроплазменное напыление / К. Ющенко, Ю. Борисов, Ю. Переверзев, В. Дармохвал, В. Бобрик, П.П.Дж. Рамакерс, С. Войнарович // Материалы 15-й Международной конференции по термическому напылению Франция. – 1998. – С. 1461-1467.
5. Нанесение узкополосного покрытия методом микроплазменного напыления / В.С. Борисов, В.Н. Перерзев, В.Г. Бобрик, С.Г. Войнарович // Автоматическая сварка. – 1999 г. – № 6. – С.

- 53-55
6. Микроплазменное напыление биокерамических покрытий / Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, В.Г. Бобрик, В.А. Дубок, Н.В. Ульянович // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 63-67.
 7. Исследование процессов микроплазменного распыления / Ю. Борисов, И. Свиридова, С. Войнарович и др. // Труды ITSC, Эссен. – 2002. – С. 335-338.
 8. Борисов Ю.С. Микроплазменное напыление с использованием проволочных материалов / Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, А.Н. Кислица // Автомат. сварка. – 2002. – № 3. – С. 54-55.
 9. Борисов Ю. Микроплазменное напыление проволокой / Ю. Борисов, А. Кислица, С. Войнарович // Материалы Международной конференции по термическому напылению. Конференция и экспозиция ITSC 2004 «Решения для термического напыления, достижения в технологии и применении» Осака, Япония. – 2004. – С. 657-661.
 10. Борисов Ю.С. Особенности процесса микроплазменного напыления из проволочных материалов / Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н. // Автомат. Сварка. – 2006. – № 6. – с. 26-31.
 11. Исследование биокерамических покрытий, полученных методом микроплазменного распыления. / Ю.С. Борисов С.Г., Войнарович, Н.В. Ульянович, Дж. Йенсен, Г. Вольке // Автоматическая сварка. – 2002. – № 9. – С. 6-8.
 12. Микроплазменное напыление биокерамических покрытий / Борисов Ю.С., Войнарович С.Г., Дубок В.А., Ульянович Н.В. // Материалы Международной конференции по термическому напылению, Орландо, США. – 2003. – С. 553-559.
 13. Влияние параметров микроплазменного распыления на структуру, фазовый состав и текстуру гидроксипатитовых покрытий. / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова, С.Г. Войнарович, А.Ю. Тунник, М.В. Карпец, А.Н. Кислица, Кузьмич-Янчук Е.К. // Автоматическая сварка. – 2008. – № 4. – С. 15-20
 14. Двухслойное биокерметическое покрытие из гидроксипатита титана. / Юценко К.А., Борисов Ю. С., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Кузьмич-Янчук Е.К. // Автоматическая сварка. – 2011. – № 12. – С. 46-49.
 15. Разработка технологии микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий для изготовления изделий медицинского назначения /Алонцева Д.Л., Войнарович С.Г., Прохоренкова Н.В., Русакова А.В., Красавин А.Л., Кадыролдина А.Т., Борисов Ю.С., Кислица О.М. // Вестник Восточно-Казахстанского государственного университета им. Д. Серикбаева. Технический университет 3 (77), сентябрь 2017 г. – С. 65-71
 16. Структурные и фазовые превращения в покрытиях из биосовместимых материалов, нанесенных микроплазменным методом на титановые имплантаты / Д.Л. Алонцева, С.Г. Войнарович, О.М. Кислица, А.В. Джес, А.В. Русакова, Н.В. Прохоренкова, А.Л. Красавин, М.О. Леонова // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2018. – Т. 15. – № 1. – С. 135-14.
 17. Разработка технологии микроплазменного напыления для нанесения биосовместимых покрытий / Д.Л. Алонцева, Ю.С. Борисов, С.Г. Войнарович, О.М. Кислица, Н.В. Прохоренкова, А.В. Русакова, А.Л. Красавин, Г.С. Бектасова // Физика и механика материалов 39 (2018). – С. 102-110.
 18. Разработка технологии микроплазменного напыления для нанесения биосовместимых покрытий при изготовлении медицинских имплантатов / Д. Алонцева, Ю. Борисов, С. Войнарович, О. Кислица, Т. Колесникова, Н. Прохоренкова, А. Кадыролдина // Przegląd Elektrotechniczny 7 (2018). – С. 94-97.
 19. Изготовление и характеристика многослойного покрытия титановых имплантатов с помощью микроплазмы с помощью робота: Биосовместимые покрытия для медицинских имплантатов с улучшенной плотностью и кристалличностью / Д. Алонцева, Э. Гассемье, С. Войнарович, О. Кислица, Ю. Половецкий, Н. Прохоренкова, А. Кадыролдина // Johnson Matthey Technol. Ред., 2020, 64, (2), 180-191.
 20. Ключев О.Ф. Технология газодинамического нанесения металлических покрытий. Часть 1. Процесс формирования покрытия / О.Ф. Ключев, А.И. Каширин, А.В. Шкодкин // «Сварщик», 2003, № 4 (32), с. 2527.
 21. Технология газодинамического нанесения металлических покрытий. Часть 2. Нанесение покрытий / О.Ф. Ключев, А.И. Каширин, А.В. Шкодкин, Т.В. Буздыгарь // «Сварщик», 2003. – № 5 (33). – С. 2427.