

FTAMP 81.35.13

Н.Б. Абишева¹ – негізгі автор, | ©
К.Т. Шеров²



¹Докторант, ²Техн. ғылым. д-ры, проф.

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-8564-0055>; ²<https://orcid.org/0000-0003-0209-180X>



¹Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан



²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан



¹batyrbekovna.nazerke@gmail.com

<https://doi.org/10.55956/EZZT7810>

ӘРТЕКТІ МАТЕРИАЛДАРДЫ ҮЙКЕЛІСПЕН ДӘНЕКЕРЛЕУ ҮШІН АРНАЛҒАН АРНАЙЫ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

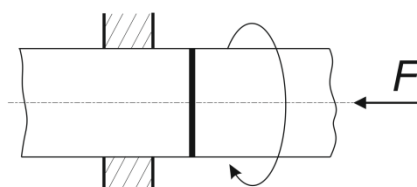
Аңдатпа. Жұмыста әртекті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің қолданыстағы технологияларын зерттеу нәтижелері, сондай-ақ токарлық білдек (станок) негізінде үйкеліспен дәнекерлеуге арналған арнайы құрылғының конструкциясы келтірілген. Әртүрлі материалдарды үйкеліс арқылы дәнекерлеудің жаңа әдісін жасауға және оны жүзеге асыру үшін арнайы құрылғыны жасауға бағытталған авторлардың ғылыми зерттеулерінің алдын-ала нәтижелері келтірілген. №4676 пайдалы модельге ҚР патенті алынған токарлық станок негізінде үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғының конструкциясы сипатталған. Үйкеліс дәнекерлеу технологиясын дамыту бойынша қосымша зерттеулердің міндеттері анықталды.

Тірек сөздер: үйкеліспен дәнекерлеу, цилиндрлік металл бөлшектер, әртекті материалдарды қосу, балқу температурасы, өзек.



Абишева, Н.Б. Әртекті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу үшін арналған арнайы құрылғының құрылымы [Мәтін] / Н.Б. Абишева, К.Т. Шеров // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2022. – №2(76). – Б.28-36.
<https://doi.org/10.55956/EZZT7810>

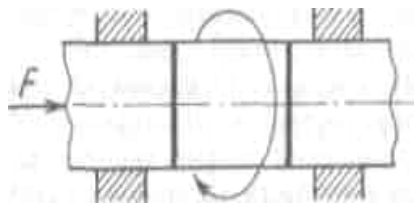
Кіріспе, мәселенің қазіргі жағдайы және өзектілігі. Үйкеліспен дәнекерлеу – әртекті материалдардан әзірленген тетіктерді қосудың өнімділігі жоғары және экономикалық тиімді процесі. Мұнда дәнекерленетін тетікке берілетін механикалық энергия қосылатын жерлерінде жылуға айналады. Осылай шоғырланған жылудың бөлінуі үйкеліспен дәнекерлеудің негізгі ерекшелігін шарттайды. Үйкеліспен дәнекерлеудің қарапайым және кең таралған схемасы 1-суретте көрсетілген [1].



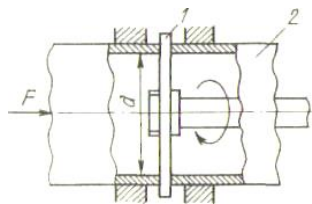
1-сурет. Үйкеліспен дәнекерлеудің қарапайым схемасы

Екі тетік қысылатын машинаға осьтесіп орналасады. Олардың бірі қозғалмайды, ал екіншісі өз осінің бойымен қозғалысқа келтіріледі. Тетіктердің бір-біріне F остік күшімен жанасқан бүйірінде үйкелу күші (моменті) пайда болады. Дәнекерленуге жұмсалған жұмыс жылуға айналады, ол үйкелу бетінде және оның жанында дәнекерлеуге қажетті температура бөледі (мысалы, қара металды дәнекерлегенде жіктегі температура 1273-1573 К болады).

Айналмайтын екі тетікті екеуінің арасына айналатын тетікпен дәнекерлеу 2-сурет бойынша орындалады [2].



2-сурет. Айналмайтын екі тетікті екеуінің арасында айналатын тетікпен дәнекерлеу



3-сурет. Айналмайтын трубаларды араларындағы жұқа дискке қатысты дәнекерлеу

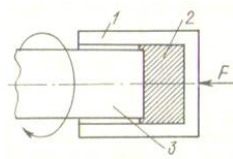
Көрсетілген әдістің негізгі кемшіліктері: қуат пен энергияның шамадан тыс көп болуы (екі жіктің бір уақытта дәнекерленуі); бекіту түйіні конструкциясының күрделілігі және орташа тетіктің айналуы; машина қысқыштарынан дәнекерленген тетіктерді алу қиындығы.

Ұзын трубаларды арасындағы жұқа дискке қатысты дәнекерлеу схемасы (3-сурет) алдыңғы схеманың бір түрі тәрізді, бірақ одан 1 дисктің жіктегі жоғары температура әсерімен тозып, жұқаруының әсерінен дәнекерлеу процесінің автоматты аяқталуымен орындалады. Диск диаметрі 2-дәнекерленетін трубаның ішкі диаметрі бойынша кесіледі, ал оның жиек бөлігі шайба түрінде дәнекерленген трубаның ортасында қалады [3]. Бұл әдістің кемшілігі қымбаттығы, конструкциясының және оны пайдаланудың күрделілігі.

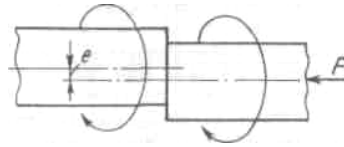
Дірілде үйкеліспен дәнекерлеу әдісі пластмассаны дәнекерлеуде қолданылады (4-сурет) [4]. Аталған әдістің кемшілігі – қабырғалары жұқа тетіктерді дәнекерлей алмайды; машина жұмысы кезіндегі шу және техникалық жүзеге асыру күрделілігі болып табылады.

Орбиталы дәнекерлеу схемасы 5-суретте көрсетілген. Бұл әдістегі жылу бөліну тиімділігі дәнекерленетін тетіктердің e эксцентриситет шамасына жылжуы нәтижесінде пайда болады, одан кейін әр тетік өз осінің бойымен айналуын жалғастырады, ал барлық үйкеліс нүктелері e радиусты шеңберлік траекторияны сипаттайды. Негізгі кемшіліктері – салмағы салыстырмалы аз қысқа тетіктерді дәнекерлеу мүмкіндігі; машина конструкциясының күрделілігі.

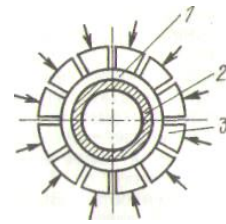
Радиалды дәнекерлеу тұтас немесе кесілген 1 сақинаны 2 трубаға цилиндрлі бетімен үйкелу бетімен дәнекерлеуді білдіреді, үйкеліс бетіндегі қысым 3 жұдырықшалардың синхронды жұмысымен қамтамасыз етіледі. Қарастырылған әдістің негізгі кемшілігі – қысатын жетек конструкциясының күрделілігі, сондай-ақ, сақинаның айналуы және сақина бетіне радиалды қысымды синхронды беруді қамтамасыз ету қажеттілігі.



4-сурет. Үйкеліспен дірілді дәнекерлеу



5-сурет. Орбиталы үйкеліспен дәнекерлеу



6-сурет. Радиалды үйкеліспен дәнекерлеу

Кейінгі жылдары көптеген елдерде қиын дәнекерленетін перспективалы материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу мүмкіндігі зерттелді. Ондай материалдардың бірі – шойын. Жапонияда шарлы графитті шойынды (ЧШГ) FCD 450 коррозияға төзімді SUS 304 және SUS 430 болаттармен [5-7] дәнекерлеу зерттелді. Бұл жұмыста үйкеліспен дәнекерлеу кезіндегі әртүрлі қосылыстағы жылу бөлінуінің қысқартылған моделі ұсынылған, сонымен қатар меншікті жылу өткізгіштігі сипатталады [6].

Шойын мен болатты үйкеліспен дәнекерлеуді қолдану мысалдары [8] жұмыста келтірілген. Бұлар көліктегі жауапты дәнекерленген түйіндер: ферритті ЧШГ әзірленген көпір мосты және болаттан әзірленген қиыстырылған тетік; шойыннан және болаттан дәнекерленген таратушы жұдырықшалы білік; ферритті-перлитті ЧШГ және болаттан әзірленген газ құрылғылары (клапандар, вентилдер). Румынияда Fgn 500-7 шойынмен 17MnCr10 болатты үйкеліспен дәнекерлеу бойынша тәжірибелер жүргізілді [9]. Цилиндрлі үлгілердің өлшемдері $\varnothing 16 \times 40$ мм болды. Сапалы қосылысты тек өте тар диапазонда ғана алуға болатыны анықталды. Польшада шойынмен легіріленбеген болатты және түсті металды дәнекерлеу бойынша сериялы тәжірибелер орындалды. Перлитті ЧШГ және аз көміртекті болатты дәнекерледі [10]. Алынған ЧШГ + ЧШГ және ЧШГ + болат дәнекерленген қосылыстардың механикалық қасиеттері төмен. Барлық үлгілерде қосылу жазықтығында бұзылулар болды. Сонымен қатар, ЧШГ мен мысты қорытпаны және ЧШГ алюминиймен үйкеліспен дәнекерлеу технологиясы зерттелді [7,11], яғни басқа дәнекерлеу әдістерімен қосылмайтын материалдар жұптары таңдалды.

Алынған нәтижелер ЧШГ басқа металмен және қорытпалармен сапалы қосылуын қамтамасыз ету үшін аралық жабынды жабу технологиясын және химиялық құрамын оңтайлау тәжірибелерінің қажеттілігін негіздейді [11].

Аталған үйкеліспен дәнекерлеу әдістерінен кең таралғаны: Еуропада – үйкеліспен қарапайым (конвенциялы) дәнекерлеу, АҚШ – инерциялы дәнекерлеу, Жапонияда – аталған дәнекерлеудің түрлері. Ал қалған түрлері өнеркәсіпте шектелген, дегенмен көптеген елдерде ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізіліп жатыр.

Көптеген елдерде үйкеліспен дәнекерлеу көлік, трактор, ауыл шаруашылығы машиналарын, ұшу аппараттарының, металл кесетін станоктардың, кесу құралдарының дайындамаларын, электрлі техникалық өнеркәсіп бұйымдарын, сонымен қатар металл өңдейтін кәсіпорындарда сериялы және топты өндіріс түлерінде кеңінен қолданылады.

Жүргізілген зерттеулер [12,13], көрсеткендей Қазақстанда машина жасау зауыттарында үйкеліспен дәнекерлеу әдісі қолданылмайды. Оған жоғарыда аталған себептерге қоса келесі факторлар да себеп болуы мүмкін:

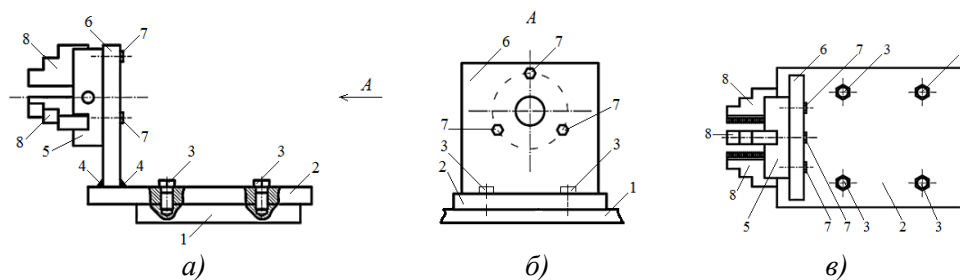
- үйкеліспен дәнекерлеу әдісінің толық зерттелмеуі;
- сериялы (немесе жаппай) сипаттағы өндірістің болмауы;
- құрылғылардың құны қымбат болғандықтан қолдану тиімсіздігі.

ҚР өндірісінің жағдайы үшін әртекті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің жаңа технологиясын жарату қажет. Ол қолданыстағы дәнекерлеу әдістерінен жоғары сапасымен, өнімділігімен, әмбебаптығымен, аз құнымен және қолдануда ыңғайлылығымен ерекшеленетін болуы керек. Сондықтан да әртекті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу технологиясын жүзеге асыру үшін аса қажет болған арнайы үйкеліспен пісіру құрылғысының құрылымын жетілдіру өзекті мәселе болып табылады.

Зерттеу әдістемесі. Жұмыста қолданылатын зерттеу әдістері үйкеліспен дәнекерлеу технологиясы, дәнекерлеу технологиялары мен жабдықтары, дәнекерлеу процестерінің теориясы, технологиялық машиналар мен жабдықтардың дизайны, металл технологиясы, корреляция теориясы және оңтайлы жағдайларды іздеудегі тәжірибелерді жоспарлау сияқты ғылымдардың негізгі ережелеріне негізделген. Жұмыстың мақсатына жету үшін әртүрлі материалдарды үйкеліспен дәнекерлеудің қолданыстағы әдістерін талдау және үйрену қажет, сонымен қатар үйкеліспен дәнекерлеуге арналған жабдықтардың құрылымы мен технологиялық мүмкіндіктерін зерттеу қажет.

Арнайы үйкеліспен пісіру құрылғысының құрылымы және оны жетілдіру. ҚарТУ «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасында жүргізілген зерттеулер кезінде анықталған кемшіліктер мен артықшылықтарын ескере отырып әртүрлі материалдарды үйкеліспен дәнекерлейтін жаңа әдіс және оны жүзеге асыратын арнайы құрылғы құрастырылуда [14].

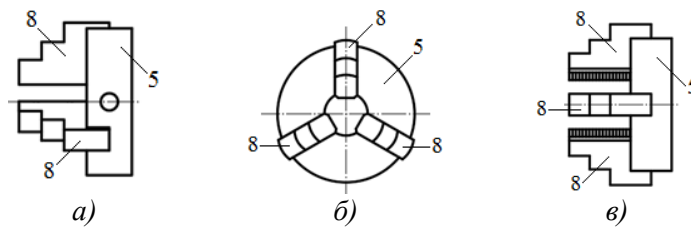
7-суретте токарлық білдегінің базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған арнайы құрылғының схемасы көрсетілген.



a – бүйірінен қараған көрінісі; *б* – *A* көрінісі; *в* – үстінен қараған көрінісі

7-сурет. Токарь станогы базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғы

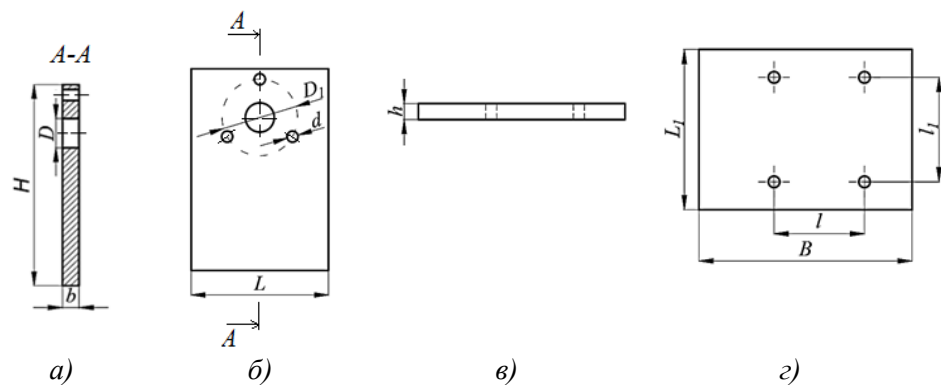
8-10-шы суреттерде токарлық білдегі базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғыға қажетті тетіктер көрсетілген. 8-суретте үш жұдырықшалы патронның құрастырылғаны көрсетілген.



a – бүйірінен қараған көрінісі; *б* – алдыңғы көрінісі; *в* - үстінен қараған көрінісі

8-сурет. Үш жұдырықшалы патрон

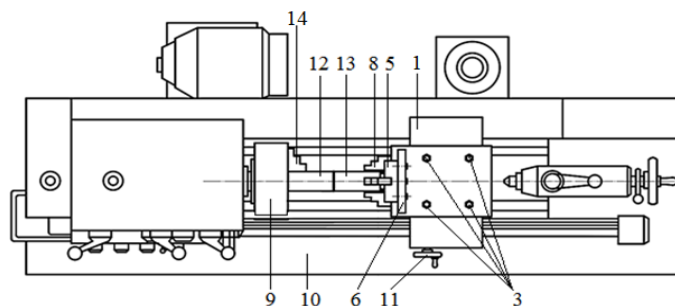
9-суретте кронштейн және плита тетіктері көрсетілген.



a, б – кронштейн тетігі; *a* - *A-A* қимасы; *б* - алдынан көрінісі; *H* – биіктігі; *D* – тесік диаметрі; *b* – қалыңдығы; *D₁* – бөлу диаметрі; *d* – бекіту бұрандаларына арналған тесіктер; *L* – ені; *в, г* – плита тетігі; *в* - бүйірінен қараған көрінісі; *г* - үстінен қараған көрінісі; *h* - плита қалыңдығы; *B* – плита ұзындығы; *L₁* – плита ені; *l, l₁* – бекіту бұрамалары тесіктерінің ось аралық қашықтығы

9-сурет. Кронштейн және плита тетіктері

10-суретте токарлық білдегіне орнатылған үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғының жалпы көрінісі (үстінен қарағанда) көрсетілген.



10-сурет. Токарлық білдегіне орнатылған құрылғының жалпы көрінісі (үстінен қарағанда)

Токарь станогының базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғы (7-10 суреттерді қараңыз) 8-үш жұдырықшалы 5-патроннан, 7-бұрамалармен бекітілген 6-кронштейннен, олар 2-плитаға 4-дәнекерлеумен 10-токарь станогының 1-суппортына орнатылған. Токарь станогының базасына үйкеліспен дәнекерлеу құрылғысын жинақтау келесі тәртіппен орындалады (7-10 суреттерді қараңыз).

2-плитаға белгі бойынша 6-кронштейн орнатылады және оны дәнекерлеп платаға қосамыз. 6-кронштейнге 8-үш жұдырықшалы 5-патрон 7-бұрамалар арқылы бекітіледі. Токарь станогы базасында үйкеліспен дәнекерлеу үшін құрастырылған құрылғыны 10-токарь станогының 1-суппортына орнатады және 3-бұрамалар көмегімен бекітеді.

Токарь станогының базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғы келесі принциппен жұмыс істейді (7-10 суреттерді қараңыз): 10-токарь станогының 15-үш жұдырықшалы 9-патронына 12-айналатын дайындама бекітіледі. 8-үш жұдырықшалы 5-патронға 13-айналмайтын дайындама бекітіледі. Токарь станогының базасында үйкеліспен дәнекерлеуге арналған құрылғыны баптайды және станок орталықтары бойынша орнатады әрі 12-айналатын және 13-айналмайтын дайындамалардың осьтерінің сәйкес келуін қамтамасыз етеді. Үйкеліспен дәнекерлеуді орындау үшін берілістің бойлық берілісі 1-суппортың 11 тұтқасы арқылы қамтамасыз етіледі. 9-патронға 15-үш жұдырықшаға бекітілген 12-дайындамаға айналатын қозғалыс 10-станоктан беріледі.

6-кронштейнде орындалған D тесігі әртүрлі диаметрлі және ұзындықты дайындамаларды дәнекерлеумен қосуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта осы құрылғыны модернизациялау және оның технологиялық мүмкіндігін кеңейту жоспарлануда, яғни электрқозғалтқышын және тоқтату үшін электрлі муфта орнату, олар 13-дайындаманың айналуын қамтамасыз етеді.

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, машина жасау өндірісінің талаптары мен ұсыныстарын ескере отырып, токарлық станокқа негізделген үйкеліспен дәнекерлеу қондырғысының құрылымы жаңартылуда. Оның технологиялық мүмкіндіктерін кеңейту жоспарлануда, оған айналу жылдамдығын басқаруға арналған түрлендіргіш қондырғысы бар электр қозғалтқышы және дайындаманың айналуын тез тежеуге мүмкіндік беруші құрылғыға ие электр ілінісі орнатылады. Құрылғының конструкциясын жаңартуды ескере отырып, тетіктер мен тораптардың өлшемдеріне түзетулер енгізіледі. Сондай-ақ, осы өзгерістерді ескере отырып, тетіктердің технологиялық және конструкторлық құжаттары дайындалатын болады.

Қорытынды:

1) Қолданыста бар болған, сондай-ақ, шетелдік ғалымдар әзірлеген үйкеліспен пісіру әдістеріне жасалған шолу бұл әдістің технологиялық мүмкіндіктерінің өте жоғары екендігін көрсетті. Әсіресе әртекті материалдарды біріктіру үшін таптырмас қолайлы әдіс екендігі анықталды. Осыған қарамастан бұл технологияның ҚР машинажасау өндірістерінде қолданысқа ие емес екендігі айқындалды. Оның басты себептері ретінде бұл әдістің әлі де толық жан-жақты зерттелмегендігін, сондай-ақ, отандық өндірістердің сериялық немесе жаппай сипатқа ие емес екендігін және үйкеліспен пісіру машиналарының өзіндік құнының тым қымбаттығына байланысты оларды қолданудың тиімсіз болуын айтуға болады.

2) Осы мәселені шешудің жолы бұл, отандық өндірістер үшін қолжетімді болған, әртекті материалдарды үйкеліспен дәнекерлеу әдісін және

арнайы құрылғы құрылымын жобалау болып табылады. Қазір осы ғылыми бағытта авторлар тарапынан ауқымды зерттеу жұмыстары орындалуда.

Әдебиеттер тізімі

1. Нечаев, К.Н. Термофрикционная обработка – перспективное технологическое направление обработки и сборки деталей [Текст] / К.Н. Нечаев // Инструмент и технологии. СПб. Институт машиностроения. - 2005. - №17-18. - С.157-162.
2. Gandra, J., Krohn, H., Miranda, R.M., Vilaça, P., Quintino, L., Dos Santos, J.F. (2014). Friction surfacing - a review / J. Mater. Process. Technol., 214 (5), pp.1062-1093. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.12.008>
3. Khalid Rafi, H., Balasubramaniam, K., Phanikumar, G., Prasad Rao, K. (2011). Thermal profiling using infrared thermography in friction surfacing / Metall. Mater. Trans. A, 42 (11), pp. 3425-3429. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0750-8>
4. Emami, S., Sadeghi-Kanani, S., Saeid, T. et al. (2020). Dissimilar friction stir welding of AISI 430 ferritic and AISI 304L austenitic stainless steels. Archiv.Civ.Mech.Eng 20, P.131 <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00138-7>
5. Srichok, T., Pitakaso, R., Sethanan, K., Sirirak, W., Kwangmuang, P. (2020). Combined Response Surface Method and Modified Differential Evolution for Parameter Optimization of Friction Stir Welding. Processes, 8, P.1080. <https://doi.org/10.3390/pr8091080>
6. Shinoda T., Endo S., Tanada K. Friction Welding of Cast iron and Stainless Steels // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 1996. Vol, 14. N 12. P. 248—254.
7. Метлицкий, В.А. Сварка чугуна давлением [Текст] / В.А. Метлицкий // Сварочное производство. - 2010. - № 4(905). - С.35-46.
8. Hauswurz G., Schober D. Reibschweifien fur potimierle Guss - Konstruktion // Konstruieren + GieBen, 1996. Bd 21, N4 S. 33-37.
9. Winiczenko, R (2016). Effect of friction welding parameters on the tensile strength and microstructural properties of dissimilar AISI 1020-ASTM A536 joints / Int J Adv Manuf Technol, V.84:941–955. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7751-5>
10. Mitelea I., Gugu R., Petrica A. Process parameters in friction welding of nodular cast iron with low alloyed steels for mechanical constructions // Sudura. 2007. Vol. 17. N 5. P. 21-27.
11. Ciszewski G. New experimental concept for the fabrication of cast iron to cast iron and cast iron to steel joints by means of friction welding and the mechanical and plastic properties of these joints // Welding and Cutting. 2007. N 5. P. 288-297.
12. Ciszewski G. New experimental concept of the fabrication of cast iron to (85 % Cu) copper alloy and cast iron to aluminium joints by friction welding and the mechanical and plastic properties of these joints // Welding and Cutting. 2008. N 2. P. 104-110.
13. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Buzauova T.M., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / Journal of Applied Engineering (JAES) Science, Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>
14. Шеров, К.Т. Устройство для сварки трением [Текст] / К.Т. Шеров, А.Б. Есиркепова, Е.Б. Иманбаев, Р. Габдысалык, Т.М. Бузауова, В.Ф. Михайлов, А.К. Шеров, И.С. Бактыбай / Патент №4676 РК на полезную модель. Опубликовано 14.02.2020 г. Бюл. №6.

Материал редакцияга 12.04.22 түсті.

Н.Б. Абишева¹, К.Т. Шеров²

¹Карагандинский технический университет, г. Караганда, Казахстан

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
г. Нур-Султан, Казахстан

КОНСТРУКЦИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В работе представлены результаты исследования существующих технологий сварки трением разнородных материалов, а также конструкции специального устройства для сварки трением на базе токарного станка. Изложены предварительные результаты проводимых авторами научных исследований, направленные на создание нового метода сварки трением разнородных материалов и разработку специального устройства для его реализации. Описана конструкция устройства для сварки трением на базе токарного станка, на которую получен патент РК на полезную модель №4676. Определены задачи дальнейших исследований по развитию технологии сварки трением.

Ключевые слова: сварка трением, цилиндрические металлические детали, соединение разнородных материалов, температура плавления, арматура.

N.B. Abisheva¹, K.T. Sherov²

¹Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

DESIGN OF A SPECIAL DEVICE FOR FRICTION WELDING OF DIFFERENT MATERIALS

Abstract. This paper presents the results of the study of existing technologies for friction welding of dissimilar materials, as well as the design of a special device for friction welding based on a lathe. Preliminary results of scientific research carried out by the authors aimed at creating a new method of friction welding of dissimilar materials and developing a special device for its implementation are presented. The design of a device for friction welding based on a lathe is described, for which a patent of the Republic of Kazakhstan for a utility model No. 4676 has been received. The tasks of further research on the development of friction welding technology are determined.

Keywords: friction welding, cylindrical metal workpiece, joining of dissimilar materials, melting temperature, fittings.

References

1. Nechayev K.N. Termofriktsionnaya obrabotka – perspektivnoye tekhnologicheskoye napravleniye obrabotki i sborki detaley [Thermal friction processing - a promising technological direction of processing and assembly of parts] // Instrument i tekhnologii. SPb. Institut mashinostroyeniya [Instrument and technologies. SPb. Institute of Mechanical Engineering.]. 2005. No.17-18. P.157-162. [in Russian].
2. Gandra, J., Krohn, H., Miranda, R.M., Vilaça, P., Quintino, L., Dos Santos, J.F. (2014). Friction surfacing - a review / J. Mater. Process. Technol., 214 (5), pp.1062-1093. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.12.008>
3. Khalid Rafi, H., Balasubramaniam, K., Phanikumar, G., Prasad Rao, K. (2011). Thermal profiling using infrared thermography in friction surfacing / Metall. Mater. Trans. A, 42 (11), pp. 3425-3429. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0750-8>

4. Emami, S., Sadeghi-Kanani, S., Saeid, T. et al. (2020). Dissimilar friction stir welding of AISI 430 ferritic and AISI 304L austenitic stainless steels. *Archiv.Civ.Mech.Eng* 20, P.131 <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00138-7>
5. Srichok, T., Pitakaso, R., Sethanan, K., Sirirak, W., Kwangmuang, P. (2020). Combined Response Surface Method and Modified Differential Evolution for Parameter Optimization of Friction Stir Welding. *Processes*, 8, P.1080. <https://doi.org/10.3390/pr8091080>
6. Shinoda T., Endo S., Tanada K. Friction Welding of Cast iron and Stainless Steels // *Quarterly Journal of the Japan Welding Society*. 1996. Vol, 14. N 12. P. 248—254.
7. Metlitskiy V.A. Svarka chuguna davleniyem [Pressure welding of cast iron] // *Svarochnoye proizvodstvo [Welding production]*. 2010. No.4(905). P.35-46. [in Russian].
8. Hauswurz G., Schober D. Reibschweifien fur potimierle Guss - Konstruktion // *Konstruieren + GieBen*, 1996. Bd 21, N4 S. 33-37.
9. Winiczenko, R (2016). Effect of friction welding parameters on the tensile strength and microstructural properties of dissimilar AISI 1020-ASTM A536 joints / *Int J Adv Manuf Technol*, V.84:941–955. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7751-5>
10. Mitelea I., Gugu R., Petrica A.Process parameters in friction welding of nodular cast iron with low alloyed steels for mechanical constructions // *Sudura*. 2007. Vol. 17. N 5. P. 21-27.
11. Ciszewski G. New experimental concept for the fabrication of cast iron to cast iron and cast iron to steel joints by means of friction welding and the mechanical and plastic properties of these joints // *Welding and Cutting*. 2007. N 5. P. 288-297.
12. Ciszewski G. New experimental concept of the fabrication of cast iron to (85 % Cu) copper alloy and cast iron to aluminium joints by friction welding and the mechanical and plastic properties of these joints // *Welding and Cutting*. 2008. N 2. P. 104-110.
13. Yessirkepova A.B., Sherov K.T., Mikhailov V.F., Buzauova T.M., Mazdubay A.V., Taskarina A.Zh. Research of ways of connecting reinforced bars in the production of reinforced concrete products / *Journal of Applied Engineering (JAES) Science_Vol. 18 No. 3 (2020) – P. 372-377*. <https://doi.org/10.5937/jaes18-24319>
14. Sherov K.T., Yesirkepova A.B., Imanbayev Ye.B., Gabdysalyk R., Buzauova T.M., Mikhaylov V.F., Sherov A.K., Baktybay I.S. Ustroystvo dlya svarki treniyem [Device for friction welding] / Patent No. 4676 of the Republic of Kazakhstan for a utility model. Published on February 14, 2020, Bull. No.6. [in Russian].