

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_3_9

XFTAP 55.21.99

TIG-БАЛҚЫТЫП ҚАПТАУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ БЕКІТУ АРМАТУРАСЫ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ TIG-НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

EFFECT OF TIG HARDFACING PROCESS PARAMETERS ON THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF SHUT-OFF VALVE COMPONENTS

Р. Ғабдысалық ¹, К.К. Комбаев ^{1*}, Н. К. Килымбеков ²,
М.Т. Капкенова ^{1*}, С.Д. Капаева ¹

¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ, Өскемен қ., Қазақстан

²«Өскемен өнеркәсіптік арматура зауыты» АҚ, Өскемен, Қазақстан

*Автор-корреспондент: Комбаев Куат Курганович, e-mail: kkombaev@edu.ektu.kz

Түйінді сөздер:

балқытып қаптау, бекіту
арматурасы, арматура
отырғыштары, GTAW/TIG
балқытып қаптауы, 20
болат, микроқұрылым,
термиялық әсер ету
аймағы, сұйылу
коэффициенті.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақалада төмен көміртекті болаттан жасалған бекіту арматурасының отырғыштарына GTAW/TIG әдісімен балқытып қаптау кезінде технологиялық параметрлердің балқытып қапталған қабаттың микроқұрылымы мен сұйылу коэффициентіне әсері эксперименттік зерттелді. Балқытып қаптау 6М толтырғыш сымды пайдалану арқылы 90–150 А ток күші, 150–200 °С алдын ала қыздыру температурасы, балқыту жылдамдығы және басқа да технологиялық параметрлер өзгертіле отырып жүргізілді. Балқытып қапталған қабат пен термиялық әсер ету аймағының микроқұрылымына металлографиялық талдау жүргізіліп, сұйылу коэффициенті анықталды.

Ток күші мен алдын ала қыздыру температурасының жоғарылауы сұйылу коэффициентінің 22%-ға дейін артуына және бағытталған бағаналы-дендриттік құрылымның қалыптасуына әкелетіні анықталды. Жылу енгізу одан әрі артқан кезде жылу ағындарының қайта бөлінуіне байланысты сұйылу коэффициентінің төмендеуі байқалды. Зерттелген жағдайларда 140 А ток күші мен 180 °С алдын ала қыздыру температурасы құрылымдық біртектілік пен технологиялық тұрақтылықтың қолайлы үйлесімін қамтамасыз ететін оңтайлы режим ретінде анықталды. Алынған нәтижелер бекіту арматурасының отырғыштарын балқытып қаптаудың технологиялық регламенттерін әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.



Ключевые слова:

наплавка, запорная
арматура, седла запорной
арматуры, GTAW/TIG-
наплавка, сталь 20,
микроструктура, зона
термического влияния,
коэффициент
разбавления.

АННОТАЦИЯ

В работе проведено экспериментальное исследование влияния технологических параметров GTAW/TIG-наплавки на формирование микроструктуры и коэффициент разбавления наплавленного слоя седел запорной арматуры из низкоуглеродистой стали. Наплавка выполнялась с использованием присадочной проволоки 6М при варьировании силы тока 90-150 А, температуры предварительного подогрева 150-200 °С, скорости наплавки и других технологических параметров. Проведён металлографический анализ микроструктуры наплавленного слоя и зоны термического влияния, а также определён коэффициент разбавления.

Установлено, что увеличение силы тока и температуры предварительного подогрева приводит к росту коэффициента разбавления до 22 % и формированию направленной столбчатодендритной структуры. При дальнейшем увеличении тепловложения наблюдается снижение коэффициента разбавления вследствие перераспределения тепловых потоков. В исследованных условиях режим с силой тока 140 А и температурой предварительного подогрева 180 °С обеспечивает благоприятное сочетание структурной однородности и технологической стабильности и рекомендуется в качестве оптимального. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических регламентов наплавки седел запорной арматуры.

keywords:

hardfacing, shut-off valves,
valve seats, GTAW/TIG
hardfacing, steel 20,
microstructure, heat-affected
zone, dilution coefficient.

ABSTRACT

This paper presents an experimental study of the effect of GTAW/TIG hardfacing parameters on the microstructure formation and dilution coefficient of the deposited layer on shut-off valve seats made of low-carbon steel. Hardfacing was performed using 6M filler wire while varying the current from 90 to 150 A, the preheating temperature from 150 to 200 °C, the hardfacing speed, and other technological parameters. Metallographic analysis of the deposited layer and heat-affected zone was performed, and the dilution coefficient was determined.

The results showed that increasing the welding current and preheating temperature increased the dilution coefficient to 22% and promoted the formation of a directed columnar-dendritic structure. With a further increase in heat input, the dilution coefficient decreased due to the redistribution of heat flows. Under the investigated conditions, a current of 140 A and a preheating temperature of 180 °C provided a favorable combination of structural uniformity and process stability and was identified as the optimal hardfacing condition. The results can be used to develop technological procedures for hardfacing shut-off valve seats.

КІРІСПЕ

Мұнай-газ және энергетика салаларында қызмет ету мерзімі мен пайдалану сенімділігін арттыру мақсатында бекіту арматурасының қақпақшасы мен отырғышының тығыздағыш беттерін балқытып қаптау қолданылады. Бұл технология тозуға төзімділікті арттыруға, сондай-ақ бөлшектердің кавитацияға және эрозияға төзімділігін жақсартуға мүмкіндік береді (Gao et al., 2024; Hattori & Mikami, 2009; Poloskov, 2019). Циклдік жүктемелер, қысымның төмендеуі және агрессивті жұмыс ортасының әсері жағдайында жанасу беттерінің сенімділігі арматураның қызмет ету ресурсын тікелей анықтайды. Инженерлік тәжірибеде балқытып қаптауды қолдану бөлшектерді толық ауыстырмай-ақ олардың пайдалану ресурсын едәуір ұзартуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде жөндеу және

пайдалану шығындары төмендеп, жабдықтың тоқтап қалу уақыты азаяды. Осыған байланысты бұл технология бекіту арматурасын өндіру мен техникалық қызмет көрсетуде маңызды орын алады (Tandon et al., 2023; Ning et al., 2025).

Отырғышты балқытып қаптау агрессивті ортада немесе жоғары жүктемелер жағдайында жұмыс істейтін беттердің пайдалану сипаттамаларын жақсартуға бағытталған. Технологияның негізгі мақсаты – қаттылығы жоғары, құрылымы біркелкі және ақаулардың түзелуіне бейімділігі төмен металл қабатын қалыптастыру. Өндірістік стандарттарға сәйкес отырғыштың тығыздағыш беттерін балқытып қаптау, әдетте, тозуға төзімділігі мен қаттылығы жоғары материалдарды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл үйкеліс жағдайында беттің сызаттарына, жарықтарына және басқа да терең ақауларға қарсы тұрақтылықты қамтамасыз етеді (Piątkowska et al., 2003).

Дәнекерлеу технологиялары саласындағы заманауи зерттеулер көрсеткендей, балқыту әдісін дұрыс таңдау және технологиялық параметрлерді оңтайландыру балқытылған қабаттың микроқұрылым мен механикалық қасиеттерінің қалыптасуына елеулі әсер етеді. Сонымен, Suprianto, Hasmin және Karsono жүргізген зерттеулерде жылу енгізу қарқындығы, электродтың қозғалу жылдамдығы және доғалық дәнекерлеу режимдері болат негіздегі тозуға төзімді жабындардың морфологиясына, қаттылығына, тозуға және коррозияға төзімділігіне айтарлықтай әсер ететіні көрсетілген (Suprianto et al., 2024). Эксперименттік зерттеулер Pramod Kumar тағы басқалар дәнекерлеу тоғымен тұндыру жылдамдығының өзгеруі 304L болаттағы балқытылған қабаттың TIG микроқұрылымына, микроқаттылығына және тозуға төзімділігіне айтарлықтай әсер ететін көрсетті, бұл жабынының қасиеттерін басқарудағы технологиялық параметрлердің рөлін көрсетеді (Kumar et al., 2021). Сол сияқты Хуе J және тағы басқалар TIG балқыту процессінде жылу енгізу мөлшері мен қорғаныс газының құрамын өзгерту фазалық құрамның өзгеруіне және ақаулардың түзілуіне азаюына ықпал ететінін анықтады. Бұл өз кезегінде балқытылған қабаттың механикалық беріктігінің артуына оң әсер етеді (Хуе et al., 2022). Демек, жылу циклін бақылау балқытылған металдың құрылымдық аймақтары мен пайдалану қасиеттерінің қалыптасуын айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады.

Толтырғыш сымның құрамы және көпқабатты жабынды қалыптастыру тәсілі жабынның пайдалану қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Зерттеулер көрсеткендей, толтырғыш сымның құрамы мен балқыту режимдерін оңтайландыру негізгі металдың сұйылу дәрежесін азайтуға, жабынның адгезиясын жақсартуға және оның коррозияға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді (Cunha et al., 2025). Дегенмен, жүргізілген зерттеулердің басым бөлігі жалпақ үлгілерде және зертханалық жағдайларда арналған, ал арматура отырғышының нақты қону беттерін балқыту кезінде құрылымның қалыптасу ерекшеліктері әлі де толық зерттелмеген.

Болат төсеніштерде тозуға төзімді жабындарды балқыту теориясы мен тәжірибесіне арналған басылымдардың айтарлықтай көлеміне қарамастан, GTAW/TIG эксперименттік зерттеулерді бөлшектердің нақты геометриясы жағдайында қабаттардың микроқұрылымын, микроқаттылығын және ақауын бағалай отырып, төмен көміртекті конструкциялық болаттан жасалған бекіту арматурасы отырғыштарының нақты геометрия жағдайындағы GTAW/TIG балқытып қаптау процестері жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Бекіту арматурасының тұрқылық бөлшектері 20 маркалы төмен көміртекті конструкциялық болаттан жасалған. Бұл болаттан жасалған құймалар жоғары дәнекерленгіштігімен және жақсы өңделгіштігімен ерекшеленеді, сондықтан тығыздағыш беттерді балқыту үшін кеңінен қолданылады. Оның химиялық құрамы мен механикалық қасиеттері MEMCT 1050-88 талаптарына сәйкес келеді. Зерттеу үшін арматура тұрқыларын дайындауда



қолданылатын ыстықтай илектелген илемнен өлшемі $20 \times 20 \times 70$ мм үлгілер кесіп алынды. Илем МЕМСТ 2590-2026 және МЕМСТ 2591-2006 талаптарына сәйкес келеді (1-кесте).

Зерттеудің барлық кезеңдерінде үлгілерді сәйкестендіруді қамтамасыз ету үшін әрбір үлгіге соққылы таңба салынады.

1-кесте. МЕМСТ 1050-88 талаптарына сәйкес 20 маркалы болаттың химиялық құрамы

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
Массасы, %	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,25	≤0,3	≤0,3	≤0,035	≤0,035
Ескерту – авторлар құрастырған								

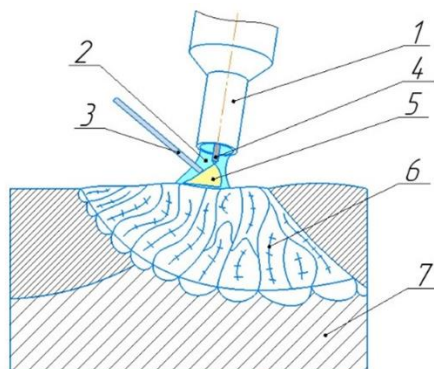
Құбыр арматурасының қондырма отырғыштарын зерттеуге арналған үлгілерді балқыту GTAW/TIG әдісімен, яғни қол режимінде қорғаныс газындағы балқымайтын вольфрам электродымен доғалық балқыту тәсілі арқылы жүргізілді. Экспериментте МЕМСТ 2246-70 талаптарына сәйкес келетін 6М қоспа сым (ER70S-6, CB-08Г2С) қолданылады. Аталған сым төмен көміртекті және төмен көміртекті болаттарды TIG әдісімен балқыту мен дәнекерлеуге арналған. Сымның химиялық құрамы, негізгі параметрлері мен өлшемдері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. Қолмен TIG қаптауға арналған 6М толтырғыш сымның химиялық құрамы мен параметрлері

Элемент/ Параметрі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	Диаметр, мм
Құрамы, %	0,06-0,15	0,80-1,15	1,40-1,85	≤0,15	≤0,15	≤0,50	≤0,025	≤0,035	1,6; 2,0
Ескерту – авторлар құрастырған									

Балқытып қаптау вольфрам электродын және дәнекерлеу доғасының тұрақтылығын және балқытылған аймақтың тотығуын болдырмайтын қорғаныс инертті газын (аргон) қолдана отырып, TIG (Tungsten Inert Gas) әдісімен жүргізіледі. Балқыту процесінің технологиялық схемасы 1-суретте көрсетілген. Балқытылған қабаттың қалыптасуы оттықтың көмегімен жүзеге асырылады, оның саптамасы (1) қорғаныш инертті газ – аргон (2) ағынын балқыту аймағына бағыттайды. Қорғаныс газ ортасы бағытталған металдың тотығуына жол бермейді және доғалық разрядтың тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Вольфрам электроды (4) мен негізгі металл төсеніштер беті (7) арасында электр доғасы (5) қозғалады, ол негізгі және толтырғыш металды жергілікті балқыту үшін қажет жылу энергиясының көзі болып табылады. Доға аймағын 6М (3) маркалы толтырғыш сым беріледі, ол жоғары температурасының әсерінен ериді және балқытылған қаптау ваннасын қалыптастырады. Балқыманы кейіннен салқындату және кристалдану процесінде бөлшектің қалпына келтірілген бөлігінің қажетті механикалық және пайдалану қасиеттерін қамтамасыз ететін кристалды дәндердің (6) тән құрылымы бар балқытылған қабат түзіледі. Микроқұрылымдық талдау балқытылған қабаттың құрылымын және доғалық балқу процесінде пайда болатын термиялық әсер ету аймағын зерттеуге бағытталған. Балқытылған металдың кристалдану механизмдерінде, түйіршікті құрылымының морфологиясына және балқытылған қабат пен негізгі металл арасындағы өтпелі аймақтың сипатына ерекше назар аударылды [Xu et al., 2022]. Балқытылған қабатта температура өзгерісіне (градиент) және жылудың төсенішке бағытталуына байланысты кристалдардың бағытталған өсуі байқалады. Мұндай құрылым, әдетте, жылу тарату бағытына бағытталған бағаналы немесе дендритті түйіршіктердің пайда болуымен

сипатталады. Термиялық әсер ету аймағында негізгі металдың құрылымдық өзгерістері, оның ішінде түйіршіктердің үлкеюі және фазалық күйдің өзгеруі байқалады. Бұл аймақтарды талдау балқытылған қабат пен төсеніш арасындағы металлургиялық адгезияның сапасын бағалауға, сондай-ақ бөлшектің қалпына келтірілген бөлігінің пайдалану қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді (Kombayev et al., 2026). Жылу режимін бақылау құрылымдық ақауларды азайтуға және кристалды дәндердің бағытталған өсуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл өнімділікті оңтайландыру үшін өте маңызды (Kombayev, Nedobitkov et al., 2025). Нәтижелер балқытылған қабаттың механикалық беріктігі мен тозуға төзімділігін тікелей анықтайтын микроқұрылымдық түрлендірулерге балқу параметрлерінің әсер ету заңдылықтарын анықтады, бұл бекіту арматурасының сенімділігін арттырудың кілті болып табылады.



1-сурет. TIG –балқыту процесінің сұлбасы және 20 маркалы болаттың термиялық әсер ету аймағы бар балқытылған қабаттың түйіршіктерін қалыптастыру құрылымы
Ескерту – авторлар құрастырған

Балқытылған қабаттың тұрақты қалыптасуын және құрылымдық ақауларды азайтуды қамтамасыз ететін балқытып қапталған қабат бетінің параметрлері 3-кестеде келтірілген. Режимдерді таңдау жинақталған өндірістік тәжірибеге және балқыту технологиясын қолданудың ұзақ тәжірибесіне негізделген (Kombayev, Syrainova et al., 2025).

3-кесте. Балқытып қапталған қабат бетінің технологиялық параметрлері

№	Төсеніш	Сым	Ток күші I , А	Доға кернеуі U , В	Сымның диаметрі d , мм	Қыздыру температурасы $T_{қыз}$, °С	Балқу жылдамдығы v , мм/с	Аргон шығыны Q , л/мин	Сұйылу коэффициенті D , %
1	Болат 20	6М	90	10.0	1.2	—	3.8	8	8
2			100	10.5	1.2	—	3.6	8	10
3			110	11.0	1.2	—	3.4	9	13
4			120	11.0	1.6	—	3.2	9	16
5			130	11.5	1.6	150	3.0	10	18
6			135	11.5	1.6	160	2.9	10	20
7			140	12.0	1.8	180	2.8	10	22
8			145	12.0	2.0	200	2.6	11	20
9			150	12.5	2.0	—	2.5	11	18

Ескерту – авторлар құрастырған

Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ «Қорғау және функционалды жабындар» ғылыми орталығында GTAW/TIG үлгілерді балқыту режимдерінің әсеріне аналитикалық зерттеулер жүргізілді.

Эксперименттік балқытылған үлгілер METALLEME автоматты дәл кесу машинасында металлографиялық талдау үшін дайындалды. Кесу режимі: айналу жиілігі – 3000 айн/мин, беру жылдамдығы – 0,03-0,05 мм/с, салқындатқыш сұйықтықты үздіксіз беру. Таңдалған параметрлер минималды термиялық әсерді және балқытылған қабаттың бастапқы микроқұрылымын сақтауды қамтамасыз етті (Kombayev, Khoshnaw et al., 2024).

Жылтыратуды екі дискілі металлографиялық тегістеу- жылтырату білдегінде жүргізілді, содан кейін 5 % азот қышқылымен өңделді. Микроқұрылым Olympus BX53M металлографиялық микроскопында, ал егжей – тегжейлі морфологиясы мен фазалық құрамы TESCAN VEGA-да растрлық электронды микроскопия (RAM) әдісімен зерттелді (Kombayev, Kim et al., 2023). Балқытылған қабаттың микроқаттылығы HV0,05 жүктемесі кезінде микроқаттылық өлшегіште өлшенді, балқытылған қабатта, термиялық әсер ету аймағында және негізгі металда өлшеулер жүргізілді, бұл үлгінің көлденең қимасы бойынша механикалық қасиеттердің таралуын бағалауға мүмкіндік береді [Kombayev et al., 2026].

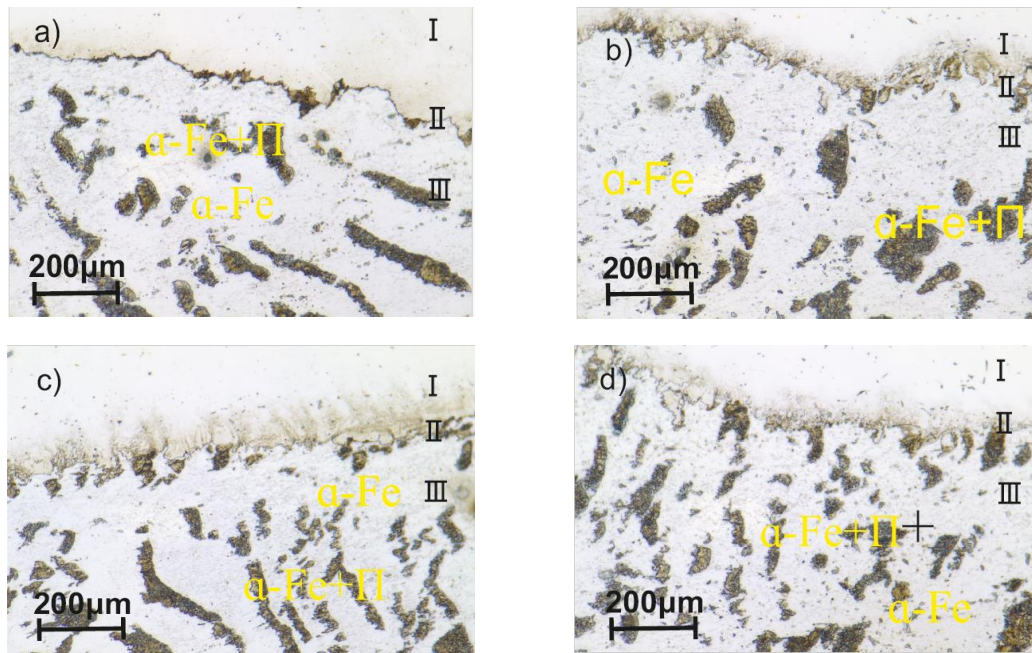
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Балқытылған металдың микроқұрылымын қалыптастыруға технологиялық параметрлердің әсерін егжей-тегжейлі талдау үшін жұмыста 2-суретте көрсетілген № 5-8 режимдер жылу енгізу деңгейі, қыздыру температурасы және сұйылату коэффициенті бойынша ең айқын болып табылады (3-кесте). № 1-4 және № 9 режимдер түбегейлі жаңа морфологиялық ерекшеліктерді анықтамаған параметрлердің жақындығына және алынған құрылымдық нәтижелердің қайталануына байланысты егжей-тегжейлі қарастырылмаған.

№ 5 режимде алынған балқытылған үлгінің микроқұрылымы (130 А; 11,5 В; $T_{\text{кыз}}$ 150 °С; $D = 18\%$) 2, а-суретте көрсетілген. I аймағында (балқытылған қабат) балқу сызығынан бетіне кристалдардың бағытталған өсуімен айқын дендриттік құрылым байқалады. Кристалдану кезінде аустениттік (γ) құрылым салқындау барысында фазалық түрленуге ұшырайды. II Аймағы (термиялық әсер) орташа енге ие және қызып кету белгілері жоқ қайта кристалдану және ішінара аустенитизациямен сипатталады. III Аймағы (субстрат — болат 20) берілген кластағы төмен көміртекті болатқа тән бастапқы феррито-перлит құрылымын (α -Fe + перлит) сақтайды.

№ 6 режимде алынған балқытылған үлгінің микроқұрылымы (135 А; 11,5 В; $T_{\text{кыз}}$ 160 °С; $D = 20\%$) 2, б-суретте көрсетілген. I аймағында дендриттердің іріленуі және салқындату жылдамдығының төмендеуіне байланысты динтерендритті қабаттар көлемінің ұлғаюы байқалады, бұл ретте жою процестерінің ауырлығы артады. II аймағы (термиялық әсер) кеңейген және түйіршіктердің іріленуі мен ішінара қайта кристалдануымен сипатталады. III аймағы (субстрат — болат 20) төмен көміртекті болатқа тән феррито-перлит құрылымын (α -Fe + перлит) сақтайды.

№ 7 режимде алынған балқытылған үлгінің микроқұрылымы (140 А; 12,0 В; $T_{\text{кыз}}$ 180 °С; $D = 22\%$) 2, с-суретте көрсетілген. I аймағында кристалдардың балқу шекарасынан бетке бағытталған өсуімен айқын бағаналы дендритті морфология қалыптасады, бұл бағытталған жылу таратумен және жоғары жылу салумен байланысты. II аймақ (термиялық әсер ету аймағы) түйіршіктердің іріленуімен және ішінара қайта кристалдануымен сипатталады. III Аймағы (субстрат — болат 20) төмен көміртекті болатқа тән феррито-перлит құрылымын (α -Fe + перлит) сақтайды.



2-сурет. GTAW/TIG әдісімен балқытып қаптау кезінде балқытылған қабаттың микроқұрылымы және 20 болаттың термиялық әсер ету аймағы (№ 5-8 режимдер)
Ескерту – авторлардың зерттеулері негізінде құрастырған

№ 8 режимде алынған балқытылған үлгінің микроқұрылымы (145 А; 12,0 В; $T_{қыз}=200^{\circ}C$; $D = 20\%$) 2, d-суретте көрсетілген. I аймағында №7 режиммен салыстырғанда біркелкі және орташа іріленген дендриттік құрылым қалыптасады. Бұл ретте сұйылу коэффициентінің №7 режиммен салыстырғанда төмендегені байқалады. II (термиялық әсер) аймағы кеңейтілген, құрылымы тураланған және қызып кету белгілерін көрсетпейді. III Аймағы (субстрат – болат 20) төмен көміртекті болатқа тән феррито-перлит құрылымын ($\alpha\text{-Fe} + \text{перлит}$) сақтайды.

Балқытылған металдың микроқұрылымын қалыптастыруға технологиялық параметрлердің әсерін сандық бағалау үшін D , % сұйылту коэффициенті қолданылады, ол балқытылған араласқан металл көлемінің балқытылған материал көлеміне қатынасы ретінде анықталады (1):

$$D = \frac{V_{\text{төсеніш}}}{V_{\text{балқытылған металл}}} \times 100\%, \quad (1)$$

мұндағы V -төсеніш тартылған балқыма көлемі, ал V — балқытылған металл - енгізілген беткі материалдың көлемі. Іс жүзінде D есептеу I ток күшін, U доғасының кернеуін, d сымның диаметрін, V балку жылдамдығын және жылу енгізу мөлшерін ескереді. №7 режим үшін ($I = 140$ А; $U = 12,0$ В; $d = 1,8$ мм; $T_{\text{rod}} = 180^{\circ}C$; $v = 2,8$ мм/с) балқытылған металдың көлемін (2) бағалауға болады:

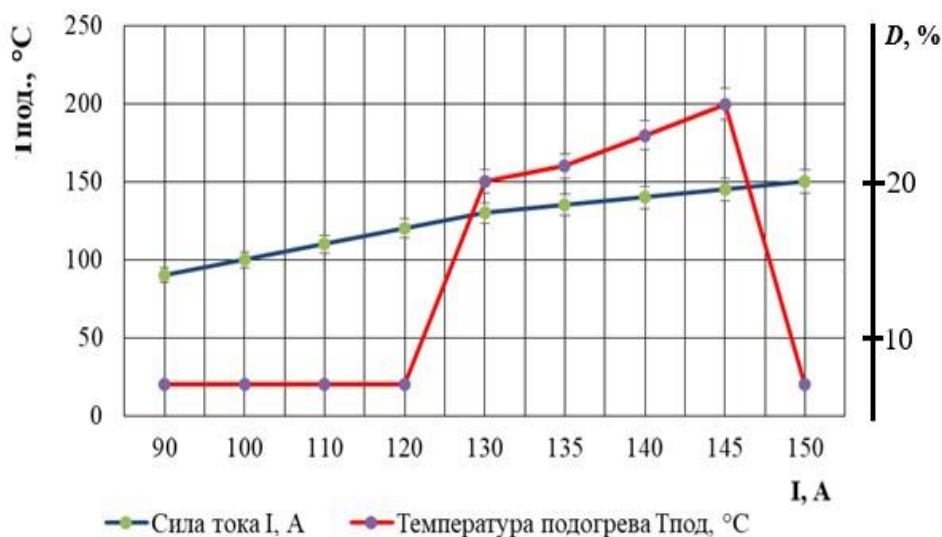
$$V_{\text{балқытылған метал}} = d^2 \times \frac{\pi}{4} \times L, \quad (2)$$

мұндағы d -толтырғыш сымның диаметрі; L -балқытылған бөлігінің ұзындығы уақыт бірлігіне материалдың берілуін ескереді. Балқымаға тартылған субстраттың көлемі балқыма алаңы мен термиялық белсенді аймақтың қалыңдығына қарай бағаланады. №7 режимге арналған эксперименттік мәліметтерге сүйене отырып, сұйылтудың есептік коэффициенті $d \approx 22\%$ құрады, бұл микроқұрылымдық бақылауларға сәйкес келеді: аралық аймақтардың орташа біртектілігі бар бағытталған бағаналы дендритті морфология қалыптасады.

D мәнін аргон ағынымен салыстыру ($Q = 10$ л/мин) доғаның тұрақты екенін, тотығу аз екенін және оңтайлы кристалдық құрылымды қалыптастыру үшін жылу енгізу мөлшері жеткілікті екенін көрсетеді.

Микроқұрылымды талдау және сұйылту коэффициентін есептеу негізінде №7 режим қарастырылып отырған жағдайларда оңтайлы деп ұсынылуы мүмкін деген қорытынды жасауға болады, өйткені ол сұйылту коэффициентінің, доғаның тұрақтылығының және балқытылған қабаттың құрылымдық біркелкілігінің қолайлы үйлесімін қамтамасыз етеді.

Балқытылған металдың микроқұрылымына технологиялық параметрлердің әсерін көрнекі бағалау үшін сұйылту коэффициентінің D, ток күшінің % I, A және $T_{\text{кыз}}$ қыздыру температурасының, °C графиктері салынған, 3-сурет. Доғаның кернеуі U, В, сымның диаметрі d, мм, беттің жылдамдығы V, мм/с және аргон шығыны Q, л/мин бұл талдауға тәуелсіз айнымалар ретінде қарастырылмады, өйткені олардың өзгерістері шамалы болды және сұйылту коэффициентіне айтарлықтай әсер етпеді.



3-сурет. Балқытылған металдың сұйылту коэффициентіне ток күші мен қыздыру температурасының әсері

Ескерту – авторлар құрастырған

Диаграманы талдау көрсеткендей, ток күші 90-нан 140А-ге дейін жоғарылағанда, қыздыру температурасының бір мезгілде жоғарылауымен бірге сұйылту коэффициенті 8-ден 22 %-ға дейін артады. Бұл учаскеде балқу аймағына жалпы жылу салудың ұлғаюына байланысты D тұрақты өсу үрдісі байқалады. Ток күшінің жоғарылауы негізгі металдың балқу тереңдігінің жоғарылауына әкеледі, ал қыздыру температурасының жоғарылауы температура градиентін төмендетеді және салқындатуды баяулатады, бұл балқытылған қабаттағы негізгі металдың үлесінің артуына ықпал етеді. Алынған тәуелділік сызықтық емес, бұл балқу тереңдігі мен балқытылған қабаттың қалыптасу тұрақтылығы арасындағы тепе-теңдікке қол жеткізетін жылу салудың оңтайлы диапазонының болуын көрсетеді.

Сұйылту коэффициентінің максималды мәні (22 %) $I=140$ А және $T_{\text{кыз}}=180$ °C (№ 7 режим) кезінде қол жеткізілді.

Бұл қызып кету және құрылымдық тұрақсыздық белгілерінсіз жеткілікті балқу тереңдігі қамтамасыз етілетін оңтайлы жылу балансының іске асырылуын көрсетеді. Ток күші 145-150 А дейін және қыздыру температурасы 200 °C дейін одан әрі жоғарылағанда сұйылту коэффициентінің 20-18 % дейін төмендеуі байқалады. Бұл үрдіс процестің

дәнекерлеу ваннасының кеңеюі және жылу ағындарының қайта бөлінуі орын алатын артық жылу саласына ауысуын көрсетеді, бұл балқытылған негізгі металдың үлесінің салыстырмалы түрде төмендеуіне әкеледі.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген эксперименттік зерттеу нәтижелері бойынша GTAW/TIG-балқытып қаптау режимдерінің 20 болаттан жасалған бекіту арматурасының отырғыштырының балқытылған қабатын қалыптастыруға әсер етуінің сандық және құрылымдық заңдылықтары анықталды.

1. 90-150 А диапазонындағы балқытып қаптау тогының күші мен 150-200 °С алдын ала қыздыру температурасының жоғарылауы балқу тереңдігінің өсуіне және сұйылту коэффициентінің 22% - ға дейін артуына әкелетіні эксперименталды түрде расталды. Жылу салудың жоғарылауы термиялық әсер ету аймағының кеңеюімен және кристалдану морфологиясының өзгеруімен бірге жүреді.

2. Металлографиялық талдау ток мәндерінің жоғарылауымен балқытылған металдың бағытталған бағаналы-дендриттік құрылымының қалыптасуын көрсетті. Қалыпты балқу режимдерінде құрылым біркелкілігімен және кристалдардың бағытталған өсу қарқындылығының төмен болуымен сипатталады.

3. Жылу енгізу мөлшерінің одан әрі ұлғаюы сұйылту коэффициентінің пропорционалды өсуін қамтамасыз етпейтіні анықталды, бұл жылу ағындарының қайта бөлінуіне және балқыманың кристалдану жағдайларының өзгеруіне байланысты.

4. Жүргізілген эксперименттер шеңберінде балқу тереңдігінің, сұйылту коэффициентінің және балқытылған қабаттың құрылымдық біртектілігінің қолайлы үйлесімін қамтамасыз ететін 140 А ток күші мен 180 °С қыздыру температурасы бар режим ұтымды болып табылады. Алынған нәтижелер қолданбалы сипатқа ие және процестің тұрақтылығын, құрылымның қайталануын және бұйымдардың пайдалану сенімділігін арттыруға бағытталған бекіту арматурасының отырғыштарын балқытудың технологиялық регламенттерін әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Автор(лар) мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің грантымен қаржыландырылды (AP22683698 «Ірі шиберлі ысырмалардың түйісетін бөлшектерінің тығыздағыш беттерінің тозуға төзімділігін арттыру»).

ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ ЭТИКА КОМИТЕТІНІҢ ҚОРЫТЫНДЫСЫ: Қолданылмайды.

ЕРІКТІ КЕЛІСІМ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Қолданылмайды.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Осы техникалық зерттеудің нәтижелерін растайтын деректерді тиісті сұраныс бойынша жауапты автордан алуға болады.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар әдістемелік қолдау мен пайдалы пікірлері үшін әріптестеріне, сондай-ақ мақаланың сапасын арттыруға септігін тигізген анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: OpenAI. (2026, 16 наурыз). Мәтінді аудару және тілдік редакциялау мақсатында ChatGPT құралы пайдаланылды. Ғылыми мазмұн, деректерді талдау және қорытындылар авторлар тарапынан әзірленді және тексерілді [Үлкен тілдік модель]. ChatGPT. <https://chat.openai.com>

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Gao, G., Guo, S., & Li, D. (2024). A review of cavitation erosion on pumps and valves in nuclear power plants. *Materials*, 17(5), 1007. <https://doi.org/10.3390/ma17051007>
- Hattori, S., & Mikami, N. (2009). Cavitation erosion resistance of Stellite alloy weld overlays. *Wear*, 267(11), 1954–1960. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.05.007>
- Kombayev, K., Kim, A., Sypainova, G., & Yelemanov, D. (2023). Improving wear resistance by electrolyte-plasma hardening of corrosion-resistant steel of the tip. *Journal of Applied Engineering Science*, 21(3), 810–819. <https://doi.org/10.5937/jaes0-42291>
- Kombayev, K., Khoshnaw, F., Uazyrkhanova, G., & Moldabayeva, G. (2024). Experimental and mathematical modelling investigation of plasma electrolytic oxidation (PEO) for surface hardening of 20Cr steel. *Materials*, 17(24), 6043. <https://doi.org/10.3390/ma17246043>
- Kombayev, K., Nedobitkov, A., Gridunov, I., Kozhakhmetov, Y., Khoshnaw, F., & Aibar, K. (2025). Surface crack analysis and quality enhancement of 30X13 (AISI 420) martensitic stainless steel gate valve shutters via electrolytic plasma hardening. *Results in Engineering*, 26, 104966. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104966>
- Kombayev, K., Sypainova, G., Khoshnaw, F., Kozhakhmetov, Y., Kurbanbekov, Sh., & Tabiyeva, Y. (2025). Practical and theoretical optimization of plasma cutting parameters for enhanced quality and efficiency in steel alloy processing. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*. <https://doi.org/10.1108/MMMS-09-2024-0255>
- Kombayev, K., Kozhakhmetov, Y., Yerbolat, D., Dauletkenov, Y., Kim, V., Kaidar, A., Ishangaliyev, A., & Khoshnaw, F. (2026). Influence of cutting parameters and assist gases on the laser cutting quality of 09G2S (S355J2, EN 10025-2) structural steel. *Results in Surfaces and Interfaces*, 22, 100716. <https://doi.org/10.1016/j.rsi.2025.100716>
- Kumar, P., Sinha, A. N., Hirwani, C. K., Murugan, M., Saravanan, A., & Singh, A. K. (2021). Effect of welding current in TIG welding 304L steel on temperature distribution, microstructure and mechanical properties. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(7). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03082-6>
- Ning, Y., Qiu, Z., Wu, B., Pan, Z., & Li, H. (2025). Hardfacing of metals: A review of consumables, properties and strengthening processes. *Journal of Materials Research and Technology*, 36, 6330–6349. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.04.221>
- Piątkowska, A., Jagielski, J., Gawlik, G., Matz, W., Richter, E., Mozetic, M., & Zalar, A. (2003). Study of micromechanical properties of ion-beam mixed tungsten-on-steel layers. *Wear*, 254(10), 1037–1041. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00313-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00313-2)
- Suprianto, N. R., Hasmin, M. F., & Karsono, M. F. (2024). Effect of welding parameters on microstructure, mechanical properties and environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1312(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012023>
- Tandon, D., Li, H., Pan, Z., Yu, D., & Pang, W. (2023). A review on hardfacing, process variables, challenges, and future works. *Metals*, 13(9), 1512. <https://doi.org/10.3390/met13091512>
- Xu, L., Shao, C., Tian, L., Zhang, J., Han, Y., Zhao, L., & Jing, H. (2022). Intergranular corrosion behavior of Inconel 625 deposited by CMT/GTAW. *Corrosion Science*, 201, 110295. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110295>
- Xue, J., Wu, H., Zhou, C., Zhang, Y., He, M., Yan, X., Xie, H., Yan, R., & Yin, Y. (2022). Effect of heat input on hydrogen embrittlement of TIG welded 304 austenitic stainless steel. *Metals*, 12, 1943. <https://doi.org/10.3390/met12111943>
- Полосков, С.С. (2019). Проблемы наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры и пути их решения. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*, 19(4), 349–356. <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-4-349-356> // Poloskov, S.S. (2019). Problemy naplavki uplotnitel'nykh poverkhnostey truboprovodnoy armatury i puti ikh resheniya [Problems of surfacing of sealing surfaces of pipeline valves and ways to solve

them]. Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don), 19(4), 349–356.
<https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-4-349-356> (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Ғабдысәлік Риза – PhD, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Ғабдысәлік Риза – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Gabdysalyk Riza – PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9184-0897>



Комбаев Куат Курганович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық инженерия мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті КЕАҚ, Өскемен қ., Қазақстан

Комбаев Куат Курганович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международная школа инженерии, НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kombayev Kuat – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (NJSC), Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: kkombaev@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6929-2748>



Кылымбеков Нуржан Кайрғазинович – техника ғылымдарының магистрі, «Өскемен өнеркәсіптік арматура зауыты» АҚ бас технологы, Өскемен қ., Қазақстан

Кылымбеков Нуржан Кайрғазинович – магистр технических наук, главный технолог АО «Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kilymbekov Nurzhan – Master of Science in Engineering, Chief Technologist at JSC “Ust-Kamenogorsk Industrial Valve Plant”, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

e-mail: nkilymbekov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9747-6102>



Капкенова Мадина Турлыбековна – техникалық ғылымдар магистрі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Капкенова Мадина Турлыбековна – магистр технических наук, Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kapkenova Madina Turlybekovna – Master of Science in Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

e-mail: MKapkenova@ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5979-8083>



Капаева Саркен Джулгazyвна – техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Капаева Саркен Джулгazyвна – кандидат технических наук, профессор, Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kapaeva Sarken Dzhulgazyvna – Candidate of Technical Sciences, Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

e-mail: sarkenkapyeva@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2237-6960>