



МАШИНАЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212\_2021\_1\_108  
MFTAA 55.21.99

К.К. Комбаев<sup>1</sup>, Д.С. Елеманов<sup>2</sup>, А.Б.Касенова<sup>3</sup>, Г.Б. Тлеужанова<sup>4</sup>

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ, Қазақстан

<sup>1</sup>E-mail: [Kombaev82@mail.ru](mailto:Kombaev82@mail.ru)\*

<sup>2</sup>E-mail: [atonai2009@mail.ru](mailto:atonai2009@mail.ru)

<sup>3</sup>E-mail: [baurzhan.bota95@mail.ru](mailto:baurzhan.bota95@mail.ru)

<sup>4</sup>E-mail: [tleuzhan\\_gulnur@mail.ru](mailto:tleuzhan_gulnur@mail.ru)

### 09G2C БОЛАТ ҮЛГІЛЕРІНІҢ АЛДЫН АЛА ҚЫЗДЫРУДЫ ПІСІРУДІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

### ВЛИЯНИЕ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 09G2C НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА

### INFLUENCE OF 09G2C STEEL SAMPLES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PREHEATING WELDING

**Аңдатпа.** Жауапты пісірілген металл конструкциялары үшін жоғары пісіру қасиеттері бар 09Г2С төмен көміртекті легірілген болаттан жасалған сұрыптық прокаттар кеңінен қолданылады. Алдын ала қыздырылған пісіру кеңінен танымал, алайда кейде ғана қалыңдығы жоғары металлдарды біріктіру үшін қолданылады. Бұл мақалада біз 09Г2С болатты әртүрлі температурада алдын-ала қыздырумен пісірудің артықшылықтарын анықтадық. Пісірілген металл конструкциялары қатаң климаттық жағдайларда қолданылады, сондықтан механикалық сынақтар +20°C; -20°C; -60°C жүргізілді; Зерттеу нәтижелері механикалық қасиеттердің стандартты сипаттамаларға сәйкестігін, бірақ әртүрлі сандық көрсеткіштермен көрсетті.

**Түйін сөздер:** болат 09Г2С; пісіру; соққы тұтқырлығы; беріктік шегі; микроқұрылым; машина жасау; үлгіні сынау.

**Аннотация.** Для ответственных сварных металлоконструкции широкое применение находят сортовые прокаты из низкоуглеродистой легированной стали 09Г2С, который обладает свойствами высокой свариваемости. Сварка с предварительным нагревом широко известна, но изредка применяется для соединения металлов большой толщины. В данной статье мы раскрыли преимущества сварки стали 09Г2С с предварительным нагревом при различных температурах. Сварные металлоконструкции используются при жестких климатических условиях и поэтому механические испытания проводили +20°C; -20°C; -60°C; Результаты исследования показали соответствие механических свойств со стандартными характеристиками, но с различным количественным показателями.

**Ключевые слова:** сталь 09Г2С; сварка; ударная вязкость; предел прочности; микроструктура; машиностроение; испытания образцов.

**Abstract.** For critical welded metal structures, high-grade rolled products made of low-carbon alloy steel 09G2S, which has the properties of high weldability, are widely used. Preheated welding is widely known, but is rarely used for joining metals of large thickness. In this article, we have revealed the advantages of welding 09G2S steel with preheating at various temperatures. Welded metal structures are

used under harsh climatic conditions and therefore mechanical tests were carried out +20°C; -20°C; -60°C; The results of the study showed that the mechanical properties correspond to the standard characteristics, but with different quantitative indicators.

**Keywords:** steel 09Г2С; welder; impact viscosity; tensile strength; microstructure; mechanical engineering; sample testing.

*Kіріспе.* 09Г2С қорытпасы жоғары беріктіктің сирек үйлесімділігімен ерекшеленеді, термоөңдеуден кейін ол жоғары беріктікке және қанағаттанарлық қыздыру параметрлеріне ие болады [1].

09Г2С болатынан металл өнімдерінен көптеген металлоконструкция, құбырлық желісі дайындалады, атап айтқанда, коставрлы болат арқалық, ыстықтай соғылған болат табақ, жіксіз құбырлар, электрмен дәнекерленген, жолақ, шеңбер профильдері дайындалады. 09Г2С болат қызып кетпейді және дәнекерлеу процесінде суарылады [2]. Оның пластикалық қасиеттері жоғары деңгейде қалады, ал түйіршіктілігі жоғарыламайды. Зерттелетін болаттың химиялық құрамы 1-кестеде келтірілген.

**1-кесте.** 09Г2С болаттың химиялық құрамы, МЕМСТ 19281-2014

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
0,12 дейін	0,5-0,8	1,3-1,7	0,3 дейін	0,035 дейін	0,03 дейін	0,3 дейін	0,12 дейін	0,008 дейін	0,3 дейін	0,08 дейін

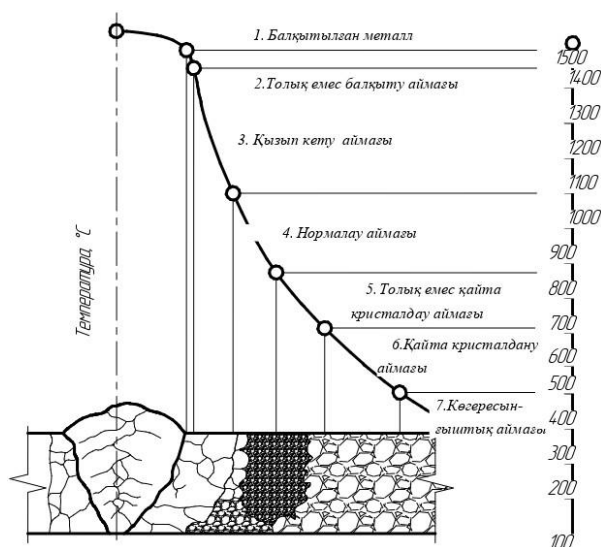
Барлық осы сипаттамалар мұндай қорытпаны пісірілген құрылымдарда қолдануға өте ыңғайлы етеді. 09Г2С болатының мұндай кең қолданылуы оның механикалық [3], химиялық және физикалық қасиеттеріне байланысты болды, 2-кесте. 09Г2С болаттан жасалған металл бұйымдары өзінің механикалық қасиеттерін -70°C-тан +450°C-қа дейінгі кеңейтілген температуралық интервалда сақтайды және жоғары қысымдардың тұрақты және екпінді әсеріне өте жақсы шыдайды.

09Г2С болаттан жасалған әртүрлі пішіндер пісірілген металл конструкциялар үшін кеңінен қолданылады [4].

**2-кесте.** 09Г2С болаттың механикалық қасиеттері, МЕМСТ 5520 – 79

Болат маркасы	Парақтың қалыңдығы, мм	Аққыштық шегі $\sigma_T$ Н/мм <sup>2</sup> (кг/мм <sup>2</sup> )	Уақытша қарсылық $\sigma_B$ Н/мм <sup>2</sup> (кг/мм <sup>2</sup> )	Салыстырмалы ұзарту S, %	Соққы тұтқырлығы КСУ, Дж/см <sup>2</sup> (кгс см <sup>2</sup> ), температурада			+20 Дж/см <sup>2</sup> (кгс см <sup>2</sup> ) кезінде механикалық қартаю кейін КСУ соққы тұтқырлығы
					+20	-40	-70	
09Г2С	12	325	470	21	59	34	29	29 (3.0)

Пісіру кезінде металдың толық балқыту аймағы, салқындаған кезде жіктің металы ірітүйірлі құйылған құрылымға ие, металдың толық емес балқыту аймағы балқытылған металдан негізгіге ауысады және балқу аймағы деп аталады, 1-сурет. Қызып кету аймағы 1100-1300 °C дейін қызады және үлкен түйірмен сипатталады. Қорытпа аймағы мен ірітүйір аймағы жапсарлы аймақ деп аталады [5]. Бұл аймақта қыздыру және салқындату нәтижесінде пісіруді анықтайтын негізгі металдың құрылымы мен қасиеттері күрт өзгереді, икемділік пен соққы тұтқырлығы төмендейді [6].



Бір реттік дәнекерлеу кезінде төмен көміртекті болаттың дәнекерленген қосылысының жылу циклы

**1-сурет.** 09Г2С болатты доғалық дәнекерлеу кезінде дәнекерлеудің термиялық әсер ету аймағының құрылымы

Егер пісіруге дейін металл суық пластикалық деформацияға ұшыраса, онда 500 °С-тан жоғары қыздырылған жерлерде қайта кристалдану пайда болуы мүмкін. 500 °С-тан төмен қыздырылған кезде болаттың тозуы мүмкін, бұл тұтқырлықтың күрт төмендеуімен бірге жүреді [7].

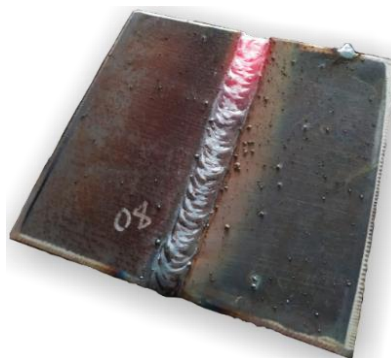
Тігістегі және термиялық әсер ету аймағындағы бөліктердің біркелкі қыздырылмауының салдарынан айтарлықтай созылу кернеулері пайда болады.

*Материалдар және зерттеу әдістері.* Аса жауапты металл конструкцияларын пісіру кезінде жіктердің жарықшақтарының пайда болуын болдырмау үшін бөлшектердің көп қабатты жігінің бірінші қабатын 150-200 °С температураға дейін алдын ала қыздыру қолданылады [8].

Жіктерді құрастыру құрылғыларында немесе ұстағыштардың көмегімен жинайды, 2, а-сурет. Оларды түбірлік пісіру жүзеге асырылатын маркамен бірдей қосымды сымдарын қолдана отырып орналастырылады. Тұтқыштың биіктігі пісірілетін бөлшектердің қалыңдығы 0,6-0,7 тең болуы керек, бірақ 3 мм-ден кем емес, қалыңдығы 10 мм-ге дейін немесе қалыңдығы 10 мм-ден асатын 4-6 мм-ге дейін болуы керек [9]. Әртүрлі температурада алдын ала қыздырумен пісіру тәжірибесін жүргізу үшін 09Г2С болаттан арнайы кесілген үлгілер қолданылды, 2, б-сурет.



а) пісіру алдындағы ұстату



б) Үлгінің пісірілген жігі

**2-сурет. 09ХГС болатты экспериментті пісіру үлгілері**

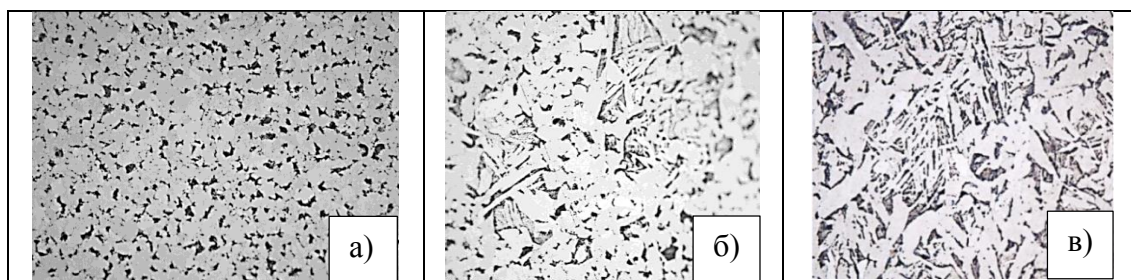
Қарқынды пластикалық деформацияның материалдың соққы тұтқырлығына теріс әсерін жою үшін стандартты үлгілер, МЕМСТ 1497-84 сәйкес дайындалды, өндіруге арналған қалыңдығын ескере отырып үлгі парақтары жасалды [10]. Соққы тұтқырлығын анықтау үшін МЕМСТ 9454-78 сәйкес сызатты соққы сынағы қолданылды. КСУ соққы тұтқырлығын бағалау үшін сынақтар PSWO-30 маятникті копрында АРІ 5СТәр түрлі температурада  $T, ^\circ\text{C}$  кезінде жүргізілді. Үлкен шамаға үлкейтіп, микроқұрылымды зерттеу үшін JEOL JSM 6490lv растрлық электронды микроскопы қолданылды. Түсірілім 20 кВ үдеткіш кернеуде жүргізілді, электрондардың көзі-лантан гексаборидінен катод қолдануымен [11].

Әдеттегідей, алдын ала қыздыру негізгі металда тігістен белгілі бір қашықтықта қолданылады [12].

*Нәтижелері және оларды талқылау.* Экспериментте  $100 \times 80 \times 10$  мм өлшемді 09Г2С болаттардың үлгілері қолданылды, әрбір пісірме үш режимде алдын ала қыздырылды. Үлгілерді алдын ала қыздыру үшін SNOL 6,7/1300 камералық пеш қолданылды. 09Г2С болаттарындағы  $A_{с3}$  критикалық нүктелерінің температурасы бірдей және  $860 ^\circ\text{C}$  құрайды, сондықтан аустениттік түйіршіктің гомогендеу және күйдіруді болдырмау мақсатында болаттардың үлгілерін қыздыру  $+20 ^\circ\text{C}$ ;  $150 ^\circ\text{C}$  және  $200 ^\circ\text{C}$  дейін жүзеге асырылды [13, С. 295]. Сонымен қатар, барлық үлгілер пештің камерасына қажетті қыздыру температурасына жеткеннен кейін пісірілді. Пісірілген жіктерден микрошлифтер жасалынып, 5 %-дық азот қышқылында күйдірілді [14]. Пісірме жіктің микроқұрылымы 3-суретте көрсетілген.

Алдын ала қыздырусыз, яғни қоршаған ортадағы  $20 ^\circ\text{C}$  температурада пісірудегі үлгі Видманштеттов микроқұрылымына келеді, 3, а-суреті. Пісіру барысында жік балқыма-сында, шамамен  $1500 ^\circ\text{C}$  көміртексідену үрдісі байқалады. Алдын ала  $150 ^\circ\text{C}$ -ге дейін қыздырған кезде болатта аз мөлшердегі перлитті-ферритті микроқұрылым байқалады, 3, б-суреті. Төмен мөлшердегі легірлеуші элементер Mn, Si, Ni және т.б. ұсақ дисперсиялы шашыранқы түрде болады [15]. Ал  $200 ^\circ\text{C}$  дейін қыздырып барып пісірген кезде перлитті-ферриті микроқұрылымнан басқа ине тәріздес мартенсит байқалады, 3, в-суреті.

1 үлгі қыздырусыз $20 ^\circ\text{C}$	2 үлгі $150 ^\circ\text{C}$ қыздыру	3 үлгі $200 ^\circ\text{C}$ қыздыру
---------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------



**3-сурет.** 09ХГС болатты қыздырусыз және алдын ала қыздырып пісірілгендегі микроқұрылым

Алдын ала 200 °С қыздырудан кейін пісіру мартенсит құрылымын алу және сақталған ферритті алу салдарынан болаттың соққы тұтқырлығы мен беріктігі қыздырусыз пісірілген Видманштеттов *микроқұрылымымен* салыстырғанда неғұрлым жоғары мәндерге ие болады [16]. Осыған байланысты, осы зерттеуде 150 °С-тан 200 °С-қа дейінгі температурада алдын ала қыздырып пісіру үлкен қызығушылық тудырады, қыздыру температурасының одан әрі жоғарылауы іс жүзінде мүмкін емес және түйірлердің шекаралары балқып кететін қалпына келтірілмейтін ақауға әкелетіні мәлім [17, с. 245].

Өңдеудің үш режимі кезіндегі болаттың микроқұрылым түйіршіктердің шамасы МЕМСТ 5639-82 бойынша өңдеу әдісімен анықталды. Түйіршік шамасы мен құрылымының алынған мәндерінің нәтижелері тиісінше 3-кестеде және 3-суретте келтірілген.

**3-кесте.** Нақты түйіршіктер құрылымы мен мөлшері

Көрсеткіштің атауы	Үлгі № 1 (20 °С)	Үлгі № 2 (150 °С)	Үлгі № 3 (200 °С)
Болат 09Г2С			
Микроқұрылымы, балл	0	0	1А
Орташа мән d, мм	0,017	0,022	0,031

Түйіршіктердің құрылымы мен мөлшері 3-ші үлгіде, яғни 200 °С алдын ала қыздырып пісіруде байқалады, 3-кесте. «Инстрон-1195» әмбебап машинасында жүргізілген механикалық сынақтар 200 °С қыздырғаннан кейін беріктік шегінің шамамен 2,5 есе артуын көрсетті  $\sigma_b$ (бастапқы 20 °С)=480 МПа;  $\sigma_b$ (150 °С)=960 МПа;  $\sigma_b$ (200 °С)=1120 МПа, пластикалықтың шамасы 3 есе төмендеуімен  $\delta$  (бастапқы 20 °С) = 24,2 %;  $\delta$  (150 °С) = 12,4 %;  $\delta$  (200 °С) = 7,8 % [18].

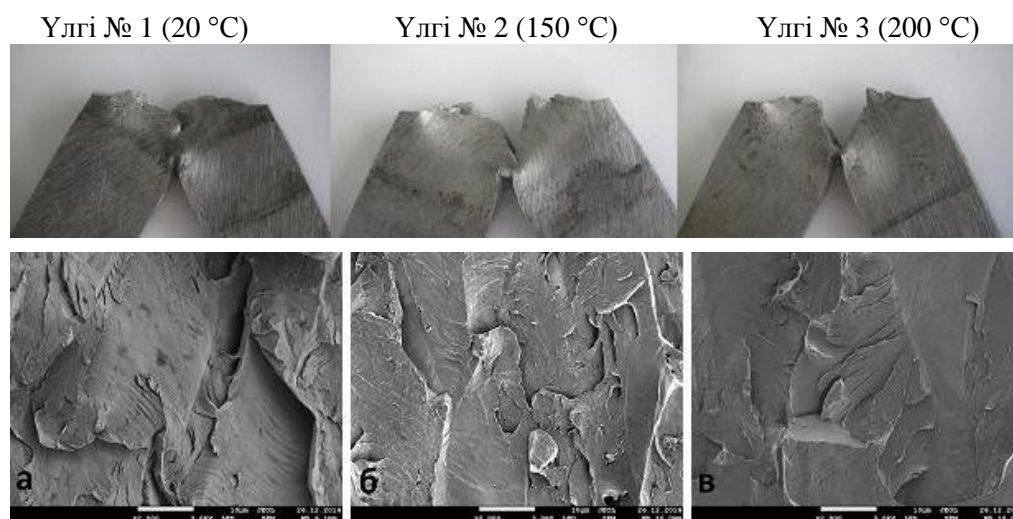
Болат 09Г2С пісірме металлоконструкциялары Қазақстанның қатаң континентальді климатта қыста -60 °С дан жазда + 60 °С қолданылады. Осы себептерден соққы иілу сынақтары «Amsler RKP-450» маятникті коперында үш түрлі температурада жүргізілді: +20, -20 және -60 °С [19].

Алдын ала қыздырылып пісірілген үлгілердің қоршаған ортаның анықтайтын сынау температураның барлық диапазонында соққыға төзімділіктің күрт өсуі байқалады, 4-сурет. Негізгі бұзылу механизмінің өзгеруіне байланысты: сынғыш соққы тұтқырлығы 27 есе (бөлме температурасында сынау) және -60 °С-та шамамен 50 есе өсті. Бастапқы күймен салыстырғанда, үлгі № 2 (150 °С) қыздырап пісірілгеннен кейінгі соққы тұтқырлығының бөлме температурасында 1,3 есе және үлгі № 3 (200 °С) қыздырылып пісірілген жік -60 °С-та 1,6 есе өсуіне әкелді [20]. Жоғарыда келтірілген мәліметтерден алдын ала қыздырылып пісірілген 09Г2С болатының соққы тұтқырлығының күрт өсуіне әкелгенін көруге болады, ол сынау температурасы кеміуімен төмендейді, 4-кесте [21].

**4-кесте.** Өртүрлі температурада 09Г2С болаттың соққы тұтқырлығы

Сынақ температурасы	Бастапқы күй үлгі № 1 (20 °С)	Үлгі № 2 (150 °С)	Үлгі № 3 (200 °С)
	Соққы тұтқырлығы КСУ		
+20 °С	2580 кДж/м <sup>2</sup>	322,765 кДж/м <sup>2</sup>	3326,02 кДж/м <sup>2</sup>
-20 °С	2425 кДж/м <sup>2</sup>	316,08 кДж/м <sup>2</sup>	3264,06 кДж/м <sup>2</sup>
-60 °С	2075 кДж/м <sup>2</sup>	266,825 кДж/м <sup>2</sup>	3045,68 кДж/м <sup>2</sup>

Қалыпты температурада (+20 °С) JEOL JSM-7800F растрлық электронды микроскопты қолдана отырып, сынған беттердің микрорельефін зерттеуі жүргізілді [22]. Бастапқы күйде сыну аймағы әлсіз кристал аралық байланысы мен сипатталады, 4, *а*-сурет. Бұл ферритті фазада қос текстураның болуын көрсетеді [23]. Алдын ала 150 °С қыздырып пісіргеннен кейін соққы тұтқырлығының күрт өсіуі материалдың қарқынды пластикалық деформациясы кезінде пайда болған текстурамен байланысты болуы мүмкін, 4, *б*-сурет. Алдын ала 200 °С температураға дейін қыздырылып пісірілген үлгіде ішілік транскристаллитті сынғыш бұзылу орын алды [24], 4, *в*-сурет.



**4-сурет.** Сынаулар температурасы +20 °С қыздырусыз (а), алдын ала 150°С қыздырып (б) және 200°С қыздырып пісірілген (в) 09Г2С болат үлгілерінің сынғыш транскристаллитті сынуы

Сонымен, алдын ала қыздырудың негізгі міндеттерінің бірі, бұл жіктің біркелкі қатаюына мүмкіндік беретін салқындату жылдамдығын бәсеңдету [25]. Бұл кернеулердің дамуын азайтады, пісіру мен негізгі металл арасындағы біркелкі кенеюге және қысылуға ықпал етеді. Металлды алдын ала қыздырумен пісірілген 09Г2С болатының микроқұрылымы жоғары механикалық қасиеттерге ие.

*Қорытынды*

1. Қыздырусыз, яғни қоршаған ортадағы 20 °С температурада пісіруде жік балкымасы көміртексізденіп Видманштеттов микроқұрылымы орын алады.

2. Алдын ала 150 °С қыздырап пісіргеннен соққы тұтқырлығының бөлме температурасында пісірілген жік 1,3 есе және 200 °С қыздырылып пісірілген жік -60 °С-та 1,6 есе өсуіне әкелді.

3. Бастапқы күйде сыну аймағы әлсіз кристал аралық байланысы мен сипатталады, ал алдын ала 200 °С температураға дейін қыздырылып пісірілген үлгіде транскристаллитті сынғыш бұзылу орын алды.

*Мақала ЖТН АР09058518 «Машинажасау саласында электролитті-плазмалық модификациялау мен материалдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жобаны жүзеге асыру аясында «ҚР БҒМ Ғылым комитеті» қаржылық қолдауымен жазылды.*

#### Әдебиеттер тізімі

1. Горев В.В. Металлические конструкции / Высшая школа. – Москва, 2004. – Т. 1. – С. 551.
2. Белоконов В.М. Производство сварных конструкций / Высшая школа. – Москва, 1998. – С. 357.
3. Куркин С.А. Технология механизация и автоматизации производства сварных конструкций / Машиностроение. – Москва. – 1989. – С. 319.
4. Ковтунов А.И. Проектирование сборочно-сварочных цехов / ТГУ. – Тольяти, 2006. – С. 55.
5. Трущенко Е.А. Технологические основы сварки давлением и плавлением / Томский политехнический университет. – Томск, 2010. – С. 80.
6. Азаров Н.А. Производство сварных конструкций / Томский политехнический университет. – Томск, 2009. – С. 146.
7. РД 34.15.132-96 Сварка и контроль качества соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
8. Дедюх Р.И. Технология сварки / Томский политехнический университет. – Томск, 2015. – С. 146.
9. Doudkin M.V., Kombayev K.K., Kim A.I., Azamatov B.N., Azamatova Zn.K. Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2020. – Vol. 10. – No. 2. – Pp. 747-758.
10. Kombayev K.K., Doudkin M.V., Kim A.I., Mlynczak M., Rakhadilov B. K. Surface hardening of the aluminum alloys Al3 by electrolytic-plasma treatment// News Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. – 2019. – Vol. 4. – No. 436. – Pp. 222-229.
11. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.
12. Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombayev K.K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel. //NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. 2017. – Vol.4 – С. 219-225.
13. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombayev K.K. Khassenov A.K. Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide//Eurasian Physical Technical Journal. – 2019. – Vol. 16. – No. 2. – Pp. 43-47.
14. Конищев Б.П., Курланов С.А., Потапов Н.Н. Сварочные материалы для дуговой сварки / Машиностроение. – Москва, 1989. – Т 1. – С. 544.
15. Зайцев Н.Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/Издательский центр ЮургУ. – Челябинск, 2014. – С. 78.
16. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Высшая школа. – Москва, 1990. – С. 446.
17. Куркин, С. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве / Высшая школа // Москва. – 1991. – С. 398.
18. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/ Машиностроение. – Москва, 1974. – С. 768.
19. Куликов В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / Экоперспектива. – Москва, 2003. – С. 416.
20. Куликов, В. П. Технология и оборудование сварки плавлением / Новая Знание. – Минск. – 2018. – С. 256.
21. Ольшанск Н.А. Сварка в машиностроении / Машиностроение. – Москва, 1978.
22. Волченко В.Н. Сварка и свариваемые материалы / Metallurgy. – Москва, 1991. – С. 527.
23. Куликов В.П. Технология сварки плавлением / Дизайн ПРО. – Минск. – 2000. – С. 257.
24. Смирнова В.В. Оборудование для дуговой сварки / Энергоатомиздат. – Ленинград, 1986. – С. 655.
25. Чернышов Г.Г. Технология сварки плавлением / Академия. – Москва, 2010. – С. 272.

## References

1. Gorev V.V. Metallicheskie konstrukcii / Vysshaya shkola. – Moskva, 2004. – T. 1. – Pp. 551.
2. Belokon' V.M. Proizvodstvo svarnyh konstrukcij / Vysshaya shkola. – Moskva, 1998. – Pp. 357.
3. Kurkin S.A. Tekhnologiya mekhanizatsiya i avtomatizatsii proizvodstva svarnyh konstrukcij / Mashinostroenie. – Moskva, 1989. – Pp.319.
4. Kovtunov A.I. Proektirovanie sborochno-svarochnyh cekhov / TGU. – Tol'yati, 2006. – S. 55.
5. Trushchenko E.A. Tekhnologicheskie osnovy svarki davleniem i plavlaniem / Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk, 2010. – Pp.80.
6. Azarov N.A. Proizvodstvo svarnyh konstrukcij / Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk, 2009. – Pp.146.
7. RD 34.15.132-96 Svarka i kontrol' kachestva soedinenij metallokonstrukcij zdaniy pri sooruzhenii promyshlennyh ob"ektov.
8. Dedyuh R.I. Tekhnologiya svarki /Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk, 2015. – Pp. 146.
9. Doudkin M.V., Kombayev K.K., Kim A.I., Azamatov B.N., Azamatova Zn.K. Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2020. – Vol. 10, no. 2. – Pp.747-758.
10. Kombayev K.K., Doudkin M.V., Kim A.I., Mlynczak M., Rakhadilov B. K. Surface hardening of the aluminum alloys Al3 by electrolytic-plasma treatment // News Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. – 2019. – Vol. 4. – No.436. – Pp. 222-229.
11. GOST 19281-2014 Prokat povyshennoj prochnosti. Obshchie tekhnicheskie usloviya
12. Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombaev K.K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel // NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. 2017. – Vol. 4. – Pp. 219-225.
13. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombaev K.K. Khassenov A.K. Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide // Eurasian Physical Technical Journal. – 2019. – Vol. 16. – No. 2. – Pp. 43-47.
14. Konishchev B.P., Kurlanov S.A., Potapov N.N. Svarochnye materialy dlya dugovoj svarki / Mashinostroenie. – Moskva, 1989. – T. 1. – Pp. 544.
15. Zajcev, N. L. Teoreticheskie osnovy svarki plavlaniem: uchebnoe posobie/Izdatel'skij centr YUUrGU. – Chelyabinsk, 2014. – Pp. 78.
16. Nikolaev, G.A. Svarnye konstrukcii. Raschet i proektirovanie/Vysshaya shkola. – Moskva, 1990. – Pp. 446.
17. Kurkin, S. A. Svarnye konstrukcii. Tekhnologiya izgotovleniya, mekhanizatsiya, avtomatizatsiya i kontrol' kachestva v svarochnom proizvodstve/Vysshaya shkola. – Moskva, 1991. – Pp. 398.
18. Paton B.E. Tekhnologiya elektricheskoy svarki metallov i splavov plavlaniem / Mashinostroenie. – Moskva, 1974. – S. 768.
19. Kulikov, V.P. Tekhnologiya i oborudovanie svarki plavlaniem i termicheskoy rezki / Ekoperspektiva. – Moskva, 2003. – S. 416.
20. Kulikov, V.P. Tekhnologiya i oborudovanie svarki plavlaniem / Novaya Znanie. – Minsk, 2018. – Pp. 256.
21. Ol'shansk N.A. Svarka v mashinostroenii / Mashinostroenie. – Moskva, 1978.
22. Volchenko V.N. Svarka i svarivaemye materialy / Metallurgiya. – Moskva, 1991. – Pp. 527.
23. Kulikov, V.P. Tekhnologiya svarki plavlaniem / Dizajn PRO. – Minsk, 2000. – Pp. 257.
24. Smirnova V.V. Oborudovanie dlya dugovoj svarki / Energoatomizdat. – Leningrad, 1986. – Pp. 655.
25. Chernyshov, G.G. Tekhnologiya svarki plavlaniem / Akademiya. – Moskva, 2010. – Pp. 272.