



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

УДК 621.774.21

Г.В. НЕСТЕРОВ, канд. техн. наук

ведущий научный сотрудник лаборатории труб и соединительных деталей¹

E-mail: NesterovGV@niitnn.transneft.ru

Д.А. ГАВРИЛОВ, канд. хим. наук

старший научный сотрудник лаборатории труб и соединительных деталей¹

E-mail: GavrilovDA@niitnn.transneft.ru

П.В. ПОШИБАЕВ

заведующий лабораторией труб и соединительных деталей¹

E-mail: PoshibaevPV@niitnn.transneft.ru

А.И. АЗАРИН

старший научный сотрудник лаборатории труб и соединительных деталей¹

E-mail: AzarinAI@niitnn.transneft.ru

¹ООО «НИИ Транснефть», г. Москва, Россия

Поступила в редакцию 26.07.2017.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Электросварные прямошовные трубы диаметром от 530 до 1220 мм, предназначенные для строительства, ремонта и реконструкции магистральных нефтепроводов, изготавливаются с помощью различных технологий формообразования трубной заготовки. С целью оценки влияния холодной деформации металла, возникающей при трубном переделе с использованием различных схем формовки, на изменение исходных механических свойств металла класса прочности К56, проведены экспериментальные исследования. В настоящей работе приведены результаты данных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: листовой прокат, трубная заготовка, формовка, трубный передел

Введение. Основными свойствами, определяющими способность труб эксплуатироваться в заданных проектных условиях, являются прочностные и вязко-пластические свойства металла.

С целью проверки качества основного металла стальных сварных труб при приемо-сдаточных испытаниях на заводах-изготовителях проводятся стандартные испытания образцов на растяжение и ударный изгиб. По результатам испытаний определяют временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение и ударную вязкость металла [1]. Для труб большого диаметра, сваренных дуговой сваркой под слоем флюса, вырезка темплетов металла, из которых изготов-

ливаются образцы для испытаний, производится в зонах трубы в соответствии с [2] под углом 90° к сварному соединению для одношовных труб и под углом 45° к сварному соединению для двухшовных труб.

Исходные механические свойства металла сварных труб в первую очередь определяются химическим составом и технологией производства листового проката, используемого в качестве заготовки. Однако известно, что при формообразовании из листового проката трубных заготовок (при трубном переделе) механические свойства металла вследствие холодной деформации могут изменяться [3, 4]. Так как деформация металла при

изготовлении трубных заготовок с использованием различных схем формообразования различна, изменение свойств металла при трубном переделе также может отличаться для различных технологических схем формовки и для различных зон по периметру готовой трубы.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния трубного передела на изменение механических свойств металла класса прочности К56 для различных схем формообразования трубной заготовки и в различных зонах по периметру трубной заготовки.

Формовка трубных заготовок большого диаметра на российских трубных заводах осуществляется с использованием следующих технологий (рисунок 1) [5–7]:

- шаговая формовка (JCO);
- формовка на вальцах (TBR);
- формовка на прессах (UOE).

С помощью шаговой формовки и формовки на вальцах изготавливаются одношовные трубы. С помощью формовки на прессах возможно изготовление как одношовных, так и двухшовных труб.

Все вышеуказанные технологии предусматривают подгибку кромок листов. В этой зоне металл испытывает наибольшие деформации.

Методика эксперимента. С целью достоверной оценки влияния трубного передела на механические свойства металла темплеты отбирали от

листового проката, задаваемого в производство, и непосредственно от готовой трубы, изготовленной из данного листа.

Исследования проводили для труб класса прочности К56. Их применение предусмотрено отраслевыми нормами проектирования линейной части новых и реконструируемых магистральных нефтепроводов диаметром от 530 до 1220 мм. Химический состав стали соответствовал требованиям [1] для металла труб в хладостойком исполнении (таблица 1).

Значения углеродного эквивалента $C_{\text{экв}}$ и параметра стойкости против растрескивания $P_{\text{см}}$ не превышали 0,42 и 0,23 соответственно.

Из одношовных труб темплеты отбирались из следующих зон:

- зона подгибки кромок (зона I);
- зона, расположенная под углом 90° от сварного соединения (зона II);
- зона, расположенная напротив сварного соединения (зона III).

Из двухшовных трубы темплеты отбирались из следующих зон:

- зона подгибки кромок (зона I_{дв});
- зона, расположенная под углом 90° от сварного соединения (зона II_{дв}).

Из исходных листов, используемых в качестве заготовок, темплеты отбирались в соответствующих зонах.

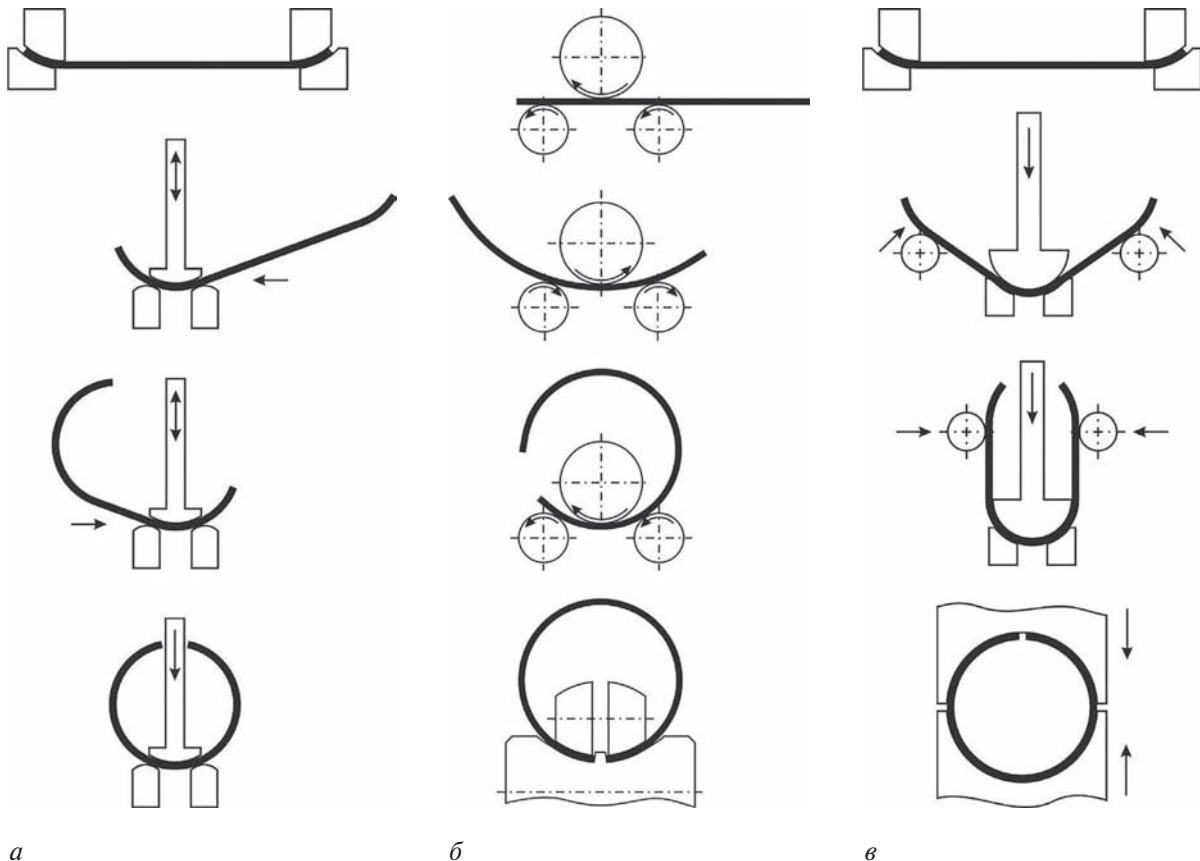


Рисунок 1 — Способы формовки трубной заготовки при изготовлении прямошовных труб большого диаметра: а — шаговая формовка (JCO); б — формовка на вальцах (TBR); в — формовка на прессах (UOE)

Таблица 1 — Массовая доля химических элементов, %, не более

C	Mn	Si	S	P	N	Al	Nb	V	Ti	Mo	Ni	Cu	Cr	B
0,12	1,85	0,60	0,010	0,015	0,010	0,05	0,11	0,08	0,04	0,25	0,35	0,35	0,20	0,001

Схемы отбора темплетов из листов и изготовленных из них труб представлены на рисунках 2 и 3.

От каждого отобранного темплета металла изготавливались и испытывались:

- два образца типа I в соответствии с [8] для испытаний на растяжение с определением временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения;

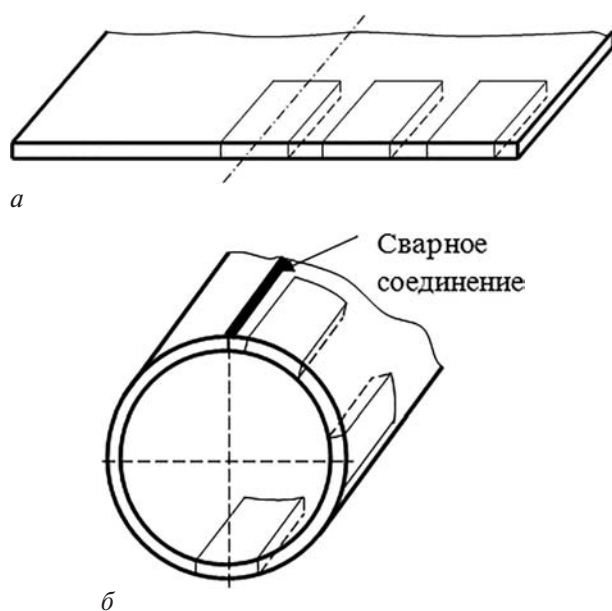


Рисунок 2 — Вырезка темплетов из листа и изготовленной из него одношовной трубы: а — вырезка темплетов из листа; б — вырезка темплетов из одношовной трубы

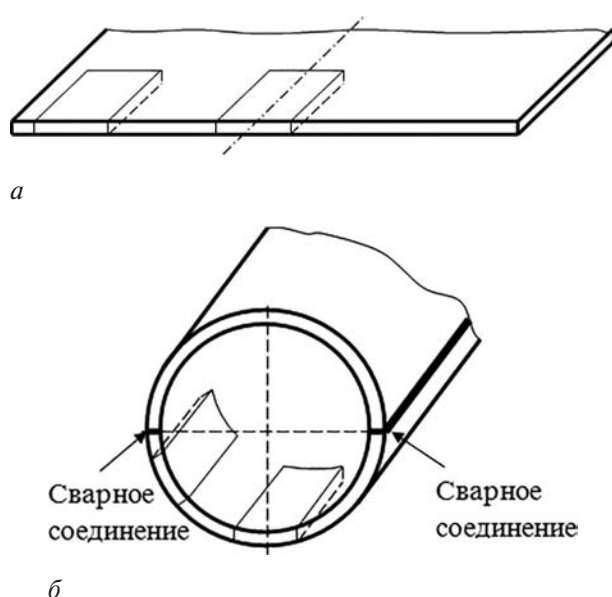


Рисунок 3 — Вырезка темплетов из листа и изготовленной из него двухшовной трубы: а — вырезка темплетов из листа; б — вырезка темплетов из двухшовной трубы

- пятнадцать образцов с V-образным надрезом в соответствии с [9] для испытаний на ударный изгиб (по три образца для испытаний при температурах 0 °С, -20 °С, -40 °С, -60 °С и -80 °С) с определением ударной вязкости KCV, количества вязкой составляющей и построением серийных кривых.

Испытания проводили в ООО «НИИ Транснефть» с использованием электромеханической испытательной машины Walter+Bay LFM 400 и маятникового копра Walter+Bay PH-300. Испытательная машина обеспечивает измерение нагрузки с погрешностью не более 0,5 % от измеряемого значения. Точность определения работы удара при испытаниях на маятниковом копре составляет 0,1 Дж.

Шаговая формовка. Для оценки влияния трубного передела с использованием шаговой формовки отбирались темплеты от листов и от труб, изготовленных из листов с помощью данной технологии.

Темплеты были отобраны от листа и изготовленной из него трубы Ø820×10 мм. Листовой прокат, из которого была сформована труба, был изготовлен на толстолистовом стане 2800 с использованием технологии контролируемой прокатки.

Также были отобраны темплеты от листа и изготовленной из него трубы Ø1220×13 мм. Листовой прокат был изготовлен на современном толстолистовом стане 5000 с возможностью проведения контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением, созданного на базе заготовительного стана машиностроительного завода [10].

Темплеты из листов и труб были вырезаны в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

Результаты испытаний образцов металла листового проката и изготовленной из него трубы Ø820×10 мм на растяжение представлены в таблице 2.

По результатам испытаний образцов на растяжение, представленных в таблице 1, видно, что во всех трех зонах, из которых вырезались темплеты, при трубном переделе произошло падение предела текучести и относительного удлинения. Наиболее интенсивное падение относительного удлинения произошло в зоне подгибки кромок — в зоне I. В зонах I и II произошло незначительное увеличение временного сопротивления. Все полученные в результате испытаний значения соответствуют техническим требованиям, согласно которым для металла труб класса прочности K56 должны выполняться следующие условия:

- временное сопротивление не менее 550 МПа, но не более 648 МПа;
- предел текучести не менее 410 МПа;
- относительное удлинение не менее 20 %.

Таблица 2 — Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы Ø820×10 мм на растяжение

$\sigma_{в.л.}$ ($\sigma_{в.л.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.}$ ($\sigma_{в.тр.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.} - \sigma_{в.л.}$ МПа	$\sigma_{т.л.}$ ($\sigma_{т.л.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.}$ ($\sigma_{т.тр.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.} - \sigma_{т.л.}$ МПа	$\delta_{5.л.}$ ($\delta_{5.л.}$), %	$\delta_{5.тр.}$ ($\delta_{5.тр.}$), %	$\delta_{5.тр.} - \delta_{5.л.}$, %
Металл зоны подгибки кромок (зона I)								
584	604	20	496	445	-51	28,6	25,1	-3,5
581	604	23	483	454	-29	29,0	23,2	-5,8
Металл из зоны 90° от сварного соединения (зона II)								
576	591	15	465	446	-19	28,2	25,1	-3,1
574	592	18	465	437	-28	28,7	26,8	-1,9
Металл из зоны напротив сварного соединения (зона III)								
600	598	-2	500	451	-49	29,1	24,3	-4,8
600	595	-5	495	439	-56	27,1	26,2	-0,9

Зависимости значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листового проката и изготовленной из него с помощью шаговой формовки трубы Ø820×10 мм класса прочности K56 представлены на рисунке 4.

В зонах I и II при трубном переделе произошло падение ударной вязкости. В зоне III определенной закономерности по изменению значений ударной вязкости не наблюдалось. Резкого падения ударной вязкости при снижении температуры не происходило. Для зоны I и зоны II ударная вязкость металла листа больше, чем ударная вязкость металла трубы во всем интервале температур испытаний.

Значения ударной вязкости удовлетворяют техническим требованиям, согласно которым ударная вязкость основного металла труб Ø820 мм хладостойкого исполнения должна быть не менее 78 Дж/см² при -20 °С.

Результаты испытаний образцов металла листа и изготовленной из него трубы Ø1220×13 мм на растяжение представлены в таблице 3.

В результате трубного передела произошло снижение предела текучести металла для всех испытанных зон, но на меньшие значения, чем для металла трубы Ø820×10 мм. Это, очевидно, связано с большими деформациями при изготовлении труб Ø820 мм, чем при изготовлении труб Ø1220 мм.

Толщина стенки трубы позволила изготовить образцы для испытаний на ударный изгиб сечением 10×10 мм. В связи с этим, воспользовавшись методикой, приведенной в [11], определили количество вязкой составляющей в изломе испытанных образцов. Испытанный металл обладал высокой хладостойкостью. Хрупкой составляющей в изломе образцов не наблюдалось. Изломы образцов с множественными расщеплениями, что повышает работу разрушения при испытании образцов [12, 13].

Графики зависимости значений ударной вязкости от температуры испытаний представлены на рисунке 5.

Фактические значения ударной вязкости металла труб удовлетворяют техническим требова-

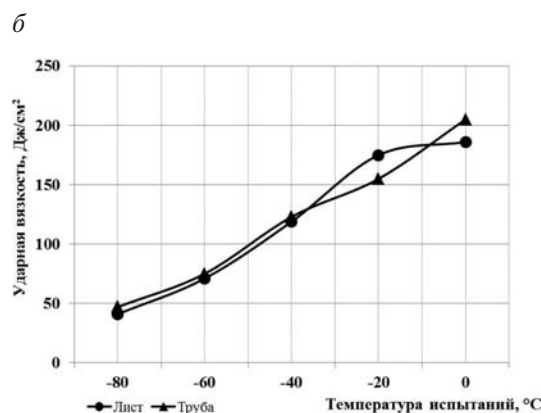
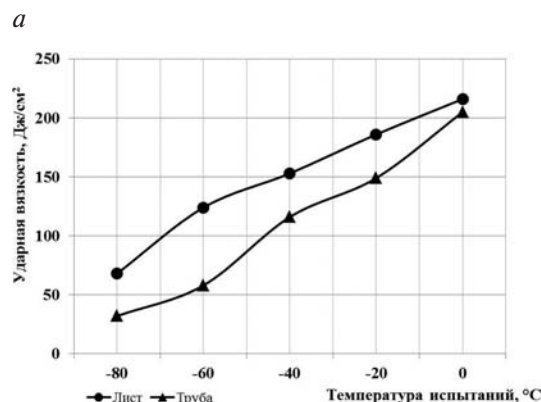
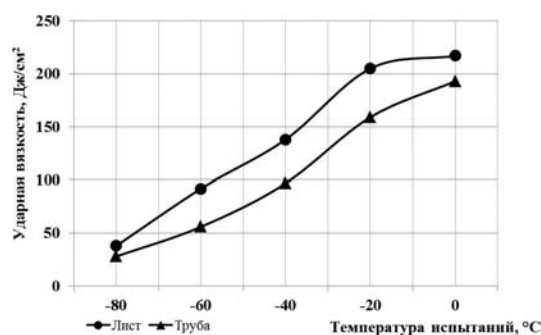


Рисунок 4 — Зависимость значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листа и изготовленной из него с помощью шаговой формовки трубы Ø820×10 мм, K56: а — зона I; б — зона II; в — зона III

Таблица 3 – Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы $\varnothing 1220 \times 13$ мм на растяжение

$\sigma_{\text{в}} \text{ листа}$ ($\sigma_{\text{в.л}}$), МПа	$\sigma_{\text{в}} \text{ трубы}$ ($\sigma_{\text{в.тр}}$), МПа	$\sigma_{\text{в.тр}} - \sigma_{\text{в.л}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}} \text{ листа}$ ($\sigma_{\text{т.л}}$), МПа	$\sigma_{\text{т}} \text{ трубы}$ ($\sigma_{\text{т.тр}}$), МПа	$\sigma_{\text{т.тр}} - \sigma_{\text{т.л}}$, МПа	$\delta_5 \text{ листа}$ ($\delta_{5.л}$), %	$\delta_5 \text{ трубы}$ ($\delta_{5.тр}$), %	$\delta_{5.тр} - \delta_{5.л}$, %
Металл зоны подгибки кромок (зона I)								
617	607	-10	561	529	-32	25,7	25,9	0,2
608	617	9	544	532	-12	25,5	25,5	0
Металл из зоны 90° от сварного соединения (зона II)								
613	618	5	558	525	-33	26,6	25,0	-1,6
612	618	6	540	525	-15	26,8	25,5	-1,3
Металл из зоны напротив сварного соединения (зона III)								
624	628	4	571	535	-36	26,4	22,3	-4,1
620	624	4	551	540	-11	27,3	22,3	-5

ниям более чем с двукратным запасом. Согласно техническим требованиям, значения ударной вязкости металла для данного диаметра труб в хладостойком исполнении должны быть не менее 88 Дж/см^2 при температуре испытаний -20°C .

Формовка на вальцах. С целью оценки влияния трубного передела при формовке трубной заготовки на вальцах (ТВР) производили отбор темплетов от листа и изготовленной из него с помощью гибки листа на трехвалковой гибочной машине трубы $\varnothing 1220 \times 13$ мм.

Результаты испытаний образцов металла на растяжение представлены в таблице 4.

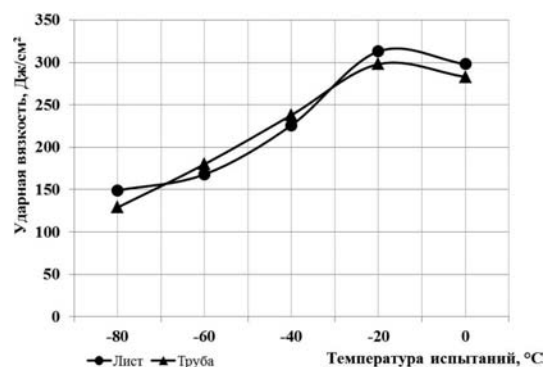
В результате трубного передела во всех зонах произошло небольшое уменьшение значений временного сопротивления и падение предела текучести. Наименьшее изменение предела текучести металла произошло в зоне II, из которой отбираются темплеты при проведении приемо-сдаточных испытаний на заводах-изготовителях труб. Изменение значений относительного удлинения находилось в пределах разброса экспериментальных данных, какой-либо закономерности не прослеживалось.

После формовки на вальцах значения ударной вязкости металла увеличились, что согласуется с результатами работы [14]. Ударная вязкость металла плавно снижалась при понижении температуры испытаний (рисунок 6). Металл обладал высокой хладостойкостью, в изломе образцов практически не наблюдалось хрупкой составляющей. Изломы образцов с расщеплениями.

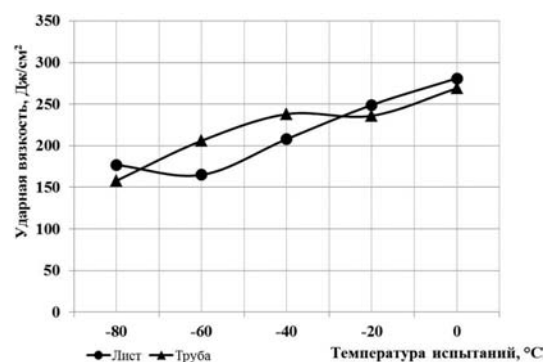
Механические свойства и значения ударной вязкости металла соответствуют техническим требованиям. При этом фактические значения ударной вязкости превышают нормативное требование более чем в два раза.

Формовка на прессах. Для оценки изменения механических свойств металла при трубном переделе с помощью формовки заготовки на прессах (УОЕ) отбирали темплеты от листов и изготовленных из них одношовных и двухшовных труб.

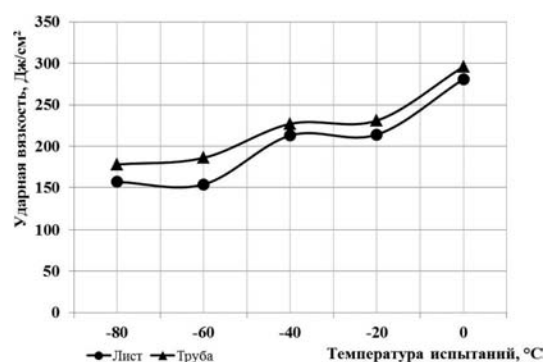
Для исследований был использован металл одношовной трубы $\varnothing 720 \times 12$ мм из листового



а



б

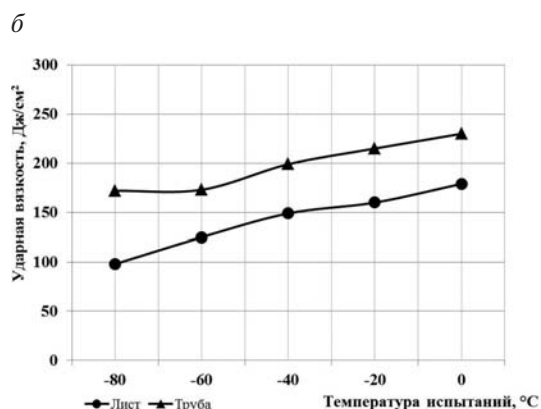
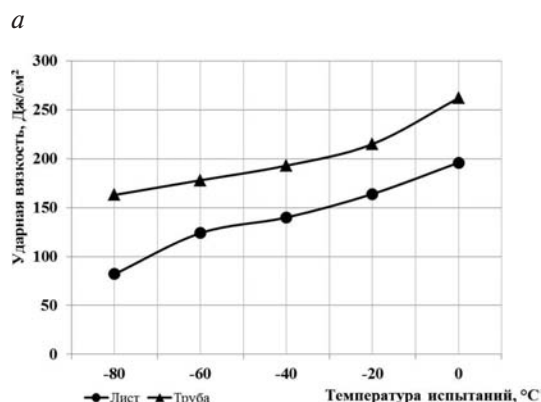
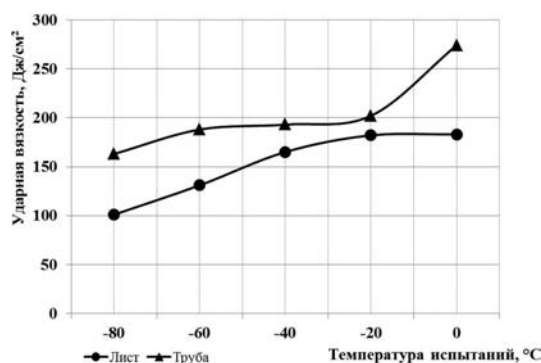


в

Рисунок 5 — Зависимость значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листа и изготовленной из него с помощью шаговой формовки трубы $\varnothing 1220 \times 13$ мм, K56: а — зона I; б — зона II; в — зона III

Таблица 4 — Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы $\varnothing 1220 \times 13$ мм на растяжение

$\sigma_{\text{в.л.}}$ ($\sigma_{\text{в.л.}}$), МПа	$\sigma_{\text{в.т.}}$ ($\sigma_{\text{в.т.}}$), МПа	$\sigma_{\text{в.т.}} - \sigma_{\text{в.л.}}$, МПа	$\sigma_{\text{т.л.}}$ ($\sigma_{\text{т.л.}}$), МПа	$\sigma_{\text{т.т.}}$ ($\sigma_{\text{т.т.}}$), МПа	$\sigma_{\text{т.т.}} - \sigma_{\text{т.л.}}$, МПа	$\delta_{\text{с.л.}}$ ($\delta_{\text{с.л.}}$), %	$\delta_{\text{с.т.}}$ ($\delta_{\text{с.т.}}$), %	$\delta_{\text{с.т.}} - \delta_{\text{с.л.}}$, %
Металл зоны подгибки кромок								
586	573	–13	516	464	–52	23,5	25,2	1,7
588	570	–18	521	479	–42	23,9	24,5	0,6
Металл крайней четверти (3 ч.)								
587	573	–14	514	478	–36	25,8	24,3	–1,5
592	576	–16	521	489	–32	26,1	25,3	–0,8
Металл из середины по ширине (6 ч.)								
604	575	–29	535	462	–73	24,8	23,2	–1,6
602	570	–32	529	490	–39	24,4	25,5	1,1

Рисунок 6 — Зависимость значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листа и изготовленной из него с помощью формовки на вальцах трубы $\varnothing 1220 \times 13$ мм, K56: а — зона I; б — зона II; в — зона III

проката, изготовленного на стане 5000, обеспечивающего режимы контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением [10]. Отбор темплетов произвели от труб класса прочности — K55.

Также отбирали темплеты от листов и изготовленной из данных листов двухшовной трубы $\varnothing 1220 \times 19$ мм. Лист был изготовлен на прокатном стане 2800.

Результаты испытаний образцов металла для трубы $\varnothing 720 \times 12$ мм представлены в таблице 5.

При трубном переделе произошло незначительное снижение временного сопротивления, снижение предела текучести и относительного удлинения. Наибольшее снижение предела текучести и относительного удлинения произошло у металла, отобранного из зоны II, из которой отбирается темплет для испытаний при проведении приемо-сдаточных испытаний труб. Конечные механические свойства металла труб после формовки распределены по периметру равномерно. Полученные в результате испытаний значения временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения соответствуют техническим требованиям как для фактически испытанного металла класса прочности K55, так и для металла класса прочности K56.

Серийные кривые, построенные по результатам испытаний образцов металла на ударный изгиб, приведены на рисунке 7. Ударная вязкость металла в результате трубного передела снизилась в зоне II. Значения ударной вязкости плавно снижаются при понижении температуры испытаний. Хрупкой составляющей в изломе образцов не наблюдалось во всем интервале температур испытаний. Значения ударной вязкости металла превышают нормативные требования с четырехкратным запасом.

Результаты испытаний металла листов и изготовленной из них двухшовной трубы $\varnothing 1220 \times 19$ мм на растяжение представлены в таблицах 6 и 7.

По результатам испытаний на растяжение можно судить о падении при трубном переделе относительного удлинения металла. Значения временного сопротивления и предела текучести изменялись как в большую, так и в меньшую сторону.

Таблица 5 — Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы Ø720×12 мм на растяжение

$\sigma_{\text{в.листа}}$ ($\sigma_{\text{в.л.}}$), МПа	$\sigma_{\text{в.трубы}}$ ($\sigma_{\text{в.тр.}}$), МПа	$\sigma_{\text{в.тр.}} - \sigma_{\text{в.л.}}$, МПа	$\sigma_{\text{т.листа}}$ ($\sigma_{\text{т.л.}}$), МПа	$\sigma_{\text{т.трубы}}$ ($\sigma_{\text{т.тр.}}$), МПа	$\sigma_{\text{т.тр.}} - \sigma_{\text{т.л.}}$, МПа	$\delta_{\text{с.листа}}$ ($\delta_{\text{с.л.}}$), %	$\delta_{\text{с.трубы}}$ ($\delta_{\text{с.тр.}}$), %	$\delta_{\text{с.тр.}} - \delta_{\text{с.л.}}$, %
Металл зоны подгибки кромок (зона I)								
583	574	−9	532	472	−60	25,7	25,5	−0,2
586	577	−9	530	468	−62	26,5	25,7	−0,8
Металл из зоны 90° от сварного соединения (зона II)								
592	581	−11	534	463	−71	26,8	23,6	−3,2
589	581	−8	533	468	−65	25,9	23,6	−2,3
Металл из зоны напротив сварного соединения (зона III)								
589	589	0	531	467	−64	26,0	24,3	−1,7
590	583	−7	535	470	−65	25,8	25,1	−0,7

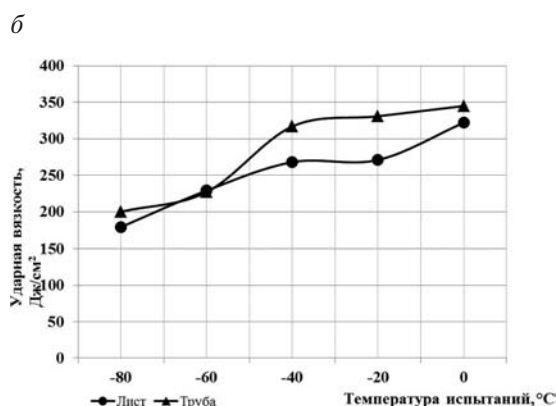
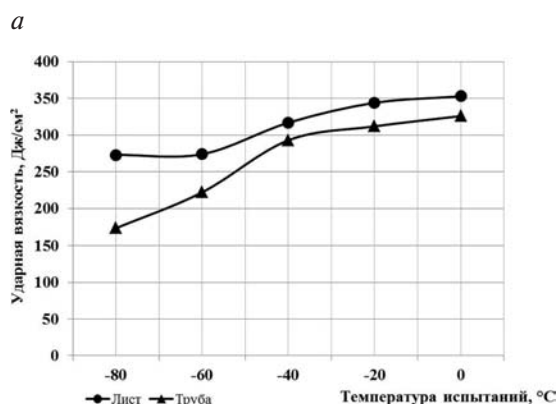
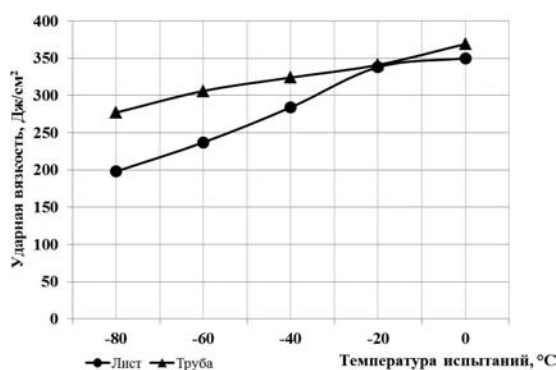


Рисунок 7 — Зависимость значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листа и изготовленной из него с помощью формовки на прессах трубы Ø720×12 мм, K55: а — зона I; б — зона II; в — зона III

Зависимости значений ударной вязкости от температуры испытаний представлены на рисунке 8.

Ударная вязкость в результате трубного передела снизилась. Запас по фактическим свойствам не столь высок, как в рассмотренных выше результатах испытаний. Резкое падение значений ударной вязкости происходило в интервале температур от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При данных температурах испытаний в изломах образцов присутствовала хрупкая составляющая. Количество вязкой составляющей в изломе ударных образцов металла трубы при температуре испытаний $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ не превышало 15 %. При температуре $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ для металла первого полуцилиндра получено значение 6 %, а металл второго полуцилиндра разрушался полностью хрупко. Таким образом, испытанный металл листа и трубы обладал меньшей хладостойкостью, чем металл, испытанный ранее. При этом следует отметить, что при больших толщинах листового проката возникает большая ликвация химических элементов, оказывающих влияние на вязкость металла [15]. Фактические значения ударной вязкости металла труб удовлетворяли нормативным техническим требованиям.

Выводы. 1. Результаты испытаний образцов металла проката и труб на растяжение показали следующее.

1.1. При трубном переделе наблюдались случаи как повышения, так и уменьшения значений временного сопротивления металла класса прочности K56. Разнонаправленные изменения значений временного сопротивления металла труб, изготовленных с помощью шаговой формовки, очевидно, связаны с неравномерностью свойств металла по периметру трубы ввиду наличия зон локальной пластической деформации, количество которых зависит от количества технологических операций при многопереходной гибке листа. Для формовки на вальцах, при которой деформация металла равномерна, произошло снижение значений временного сопротивления во всех зонах по периметру трубы.

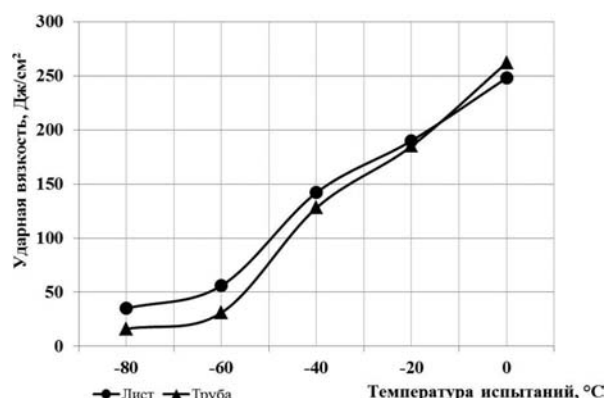
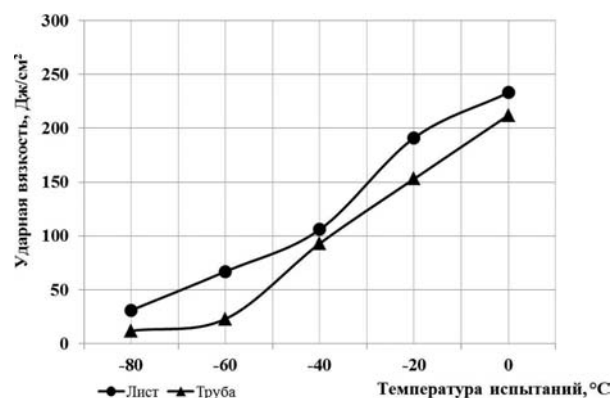
1.2. Значения предела текучести при трубном переделе металла класса прочности K56 уменьшаются

Таблица 6 — Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы Ø1220×19 мм на растяжение (первый полуцилиндр)

$\sigma_{в.л.}$ ($\sigma_{в.л.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.}$ ($\sigma_{в.тр.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.} - \sigma_{в.л.}$ МПа	$\sigma_{т.л.}$ ($\sigma_{т.л.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.}$ ($\sigma_{т.тр.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.} - \sigma_{т.л.}$ МПа	δ_5 листа ($\delta_{5.л.}$), %	δ_5 трубы ($\delta_{5.тр.}$), %	$\delta_{5.тр.} - \delta_{5.л.}$, %
Металл зоны подгибки кромок								
575	580	5	480	479	−1	27,5	23,6	−3,9
571	579	8	469	476	7	25,7	23,6	−2,1
Металл из середины по ширине (6 ч.)								
576	600	24	477	482	5	25,4	23,9	−1,5
571	602	31	480	479	−1	26,8	23,9	−2,9

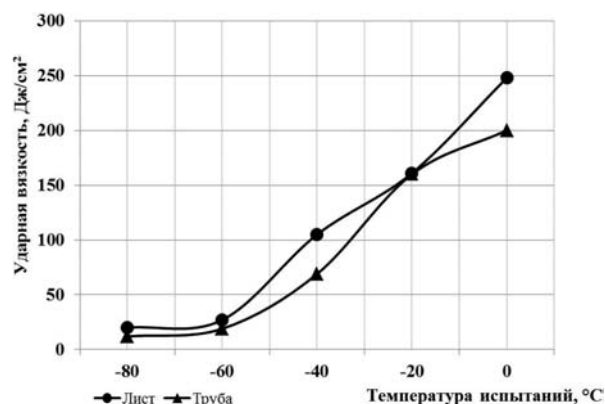
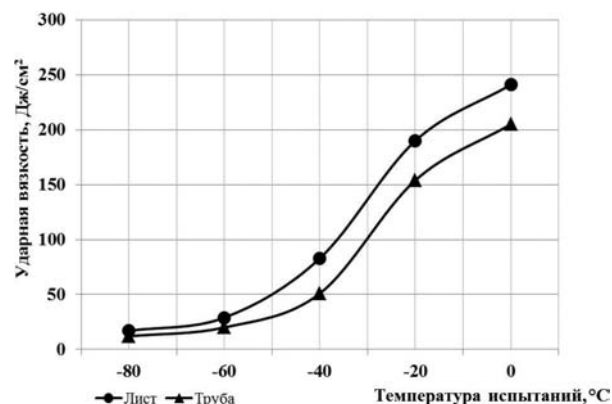
Таблица 7 — Результаты испытаний металла листового проката и изготовленной из него трубы Ø1220×19 мм на растяжение (второй полуцилиндр)

$\sigma_{в.л.}$ ($\sigma_{в.л.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.}$ ($\sigma_{в.тр.}$), МПа	$\sigma_{в.тр.} - \sigma_{в.л.}$ МПа	$\sigma_{т.л.}$ ($\sigma_{т.л.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.}$ ($\sigma_{т.тр.}$), МПа	$\sigma_{т.тр.} - \sigma_{т.л.}$ МПа	δ_5 листа ($\delta_{5.л.}$), %	δ_5 трубы ($\delta_{5.тр.}$), %	$\delta_{5.тр.} - \delta_{5.л.}$, %
Металл зоны подгибки кромок								
594	596	2	485	465	−20	26,8	23,9	−2,9
593	599	6	487	467	−20	26,4	23,8	−2,6
Металл из середины по ширине (6 ч.)								
594	613	19	492	511	19	24,3	24,6	0,3
592	600	8	489	476	−13	27,1	23,2	−3,9



а

б



в

г

Рисунок 8 — Зависимость значений ударной вязкости металла KCV от температуры испытаний для различных зон листа и изготовленной из него с помощью формовки на прессах трубы Ø1220×19 мм, К56: а — зона I_{дв} (первый полуцилиндр); б — зона II_{дв} (первый полуцилиндр); в — зона I_{дв} (второй полуцилиндр); г — зона II_{дв} (второй полуцилиндр)

независимо от способа формовки трубной заготовки. Это связано с возникновением при изготовлении труб и изготовлении из них образцов для испытаний пластических деформаций металла обратных знаков и проявлением эффекта Баушингера. Наибольшее снижение предела текучести происходит у металла труб меньшего диаметра, металл которых испытывает большие пластические деформации.

1.3 Относительное удлинение металла при трубном переделе снизилось для основного объема испытанных образцов (26 образцов из 32).

2. Результаты испытаний образцов на ударный изгиб показали, что для металла труб класса прочности K56, изготовленных с помощью формовки на вальцах, при трубном переделе происходит увеличение ударной вязкости KCV во всем диапазоне температур испытаний (0 °C, -20 °C, -40 °C, -60 °C и -80 °C).

Для металла труб, изготовленных шаговой формовкой и формовкой на прессах, закономерности по изменению значений ударной вязкости металла при трубном переделе не выявлено.

3. В целом по результатам проведенных испытаний можно сделать вывод, что при изготовлении труб класса прочности K56 при трубном переделе происходит падение предела текучести и относительного удлинения независимо от применяемого способа формовки.

В связи с этим для изготовления труб класса прочности K56 целесообразно использовать листовой прокат нормативные требования к значениям предела текучести и относительного удлинения металла которого выше, чем нормативные требования для труб.

Список литературы

1. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубы стальные сварные. Технические условия: ГОСТ Р 56403-2016. — Введ. 01.01.2016. — М.: Стандартинформ, 2015.

2. Трубы металлические. Методы отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний: ГОСТ 30432-96. — Введ. 01.01.2000. — М.: Стандартинформ, 2010.
3. Столхейм, Дуглас Дж. Современные системы легирования и практика производства высокопрочных сталей для магистральных нефтегазопроводов. Часть II / Дуглас Дж. Столхейм // Металлург. — 2013. — № 12. — С. 58–62.
4. Лисин, Ю.В. Исследования физико-химических свойств стали длительно эксплуатируемых трубопроводов, оценка ресурса безопасной работы / Ю.В. Лисин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2015. — № 4. — С. 18–28.
5. Технология трубного производства / В.Н. Данченко [и др.]. — М.: Интермет инжиниринг, 2002. — 638 с.
6. Машины и агрегаты для производства стальных труб / Ю.Ф. Шевакин [и др.]. — М.: Интермет инжиниринг, 2007. — 388 с.
7. Неганов, Д.А. Компьютерное моделирование процесса формовки трубной заготовки большого диаметра / Д.А. Неганов, Г.В. Нестеров, А.А. Богач // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2017. — № 2. — С. 48–55.
8. Метод испытаний на растяжение: ГОСТ 1497-84. — Введ. 16.07.84. — М.: Стандартинформ, 2008.
9. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах: ГОСТ 9454-78. — Введ.: 17.04.78.
10. Гурова, С.А. О развитии производства и потребления труб / С.А. Гурова, Л.А. Кондратов // Сталь. — 2013. — № 7. — С. 50–58.
11. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия: ГОСТ 4543-71. — Введ. 01.01.1973. — М.: Изд-во стандартов, 1996.
12. Одесский, П.Д. Микролегированные стали для северных и уникальных металлических конструкций / П.Д. Одесский, Л.А. Смирнов, Д.В. Кулик. — М.: Интермет Инжиниринг, 2006. — 176 с.
13. Коротовская, С.В. Управление процессами структурообразования при термомеханической обработке судостроительных и трубных сталей унифицированного химического состава / С.В. Коротовская, В.В. Орлов, Е.И. Хлусова // Металлург. — 2014. — № 5. — С. 71–78.
14. Влияние формовки на вальцах на комплекс механических свойств металла электросварных труб большого диаметра / И.П. Шабалов [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2015. — № 1. — С. 60–69.
15. Центральная сегрегационная неоднородность в непрерывнолитых листовых заготовках и толстолистовом прокате / А.П. Белый [и др.]. — М.: Металлургиздат, 2005. — 136 с.

NESTEROV Grigory V., Ph. D. in Eng.

Leading Researcher of the Laboratory of the Pipes and Fittings¹

E-mail: NesterovGV@niitnn.transneft.ru

GAVRILOV Dmitry A., Ph. D. in Chem.

Senior Researcher of the Laboratory of Pipes and Fittings¹

E-mail: GavrilovDA@niitnn.transneft.ru

POSHIBAEV Pavel V.

Head of the Laboratory of Pipes and Fittings¹

E-mail: PoshibaevPV@niitnn.transneft.ru

AZARIN Alexander I.

Senior Researcher of the Laboratory of Pipes and Fittings¹

E-mail: AzarinAI@niitnn.transneft.ru

¹The Pipeline Transport Institute, LLC, Moscow, Russia

Received 26 June 2017.

CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES OF SHEET METAL IN THE MANUFACTURING PROCESS OF LARGE DIAMETER PIPES FOR OIL PIPELINES

Electric-welded pipes with diameters from 530 to 1220 mm, intended for construction, repair and reconstruction of oil trunk pipelines, are manufactured using different technologies of forming a pipe billet. To assess the influence of the cold deformation of metal that occurs when the different forming methods of pipe billet are used on a changing of the original mechanical properties of metal of strength grade K56, experimental research was performed. The results of these experimental research are presented in the paper.

Key words: sheet metal, pipe billet, forming, pipe forming

References

1. GOST R 56403-2016. *Magistralny truboprovodny transport nefii i nefteproduktov. Truby stalnye svarnye. Tehnicheskie uslovia* [State Standart R 56403-2016. Trunk pipeline transport of oil and oil products. Steel welded pipes. Technical conditions].
2. GOST 30432-96. *Truby metallicheskie. Metody otbora prob, zagotovok i obrazcov dlya mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh ispytaniy* [State Standart 30432-96. Metal pipes. Methods of sampling, blanks and samples for mechanical and technological tests].
3. Stolheym Dyglas Dj. *Sovremennye sistemy legirovaniya i praktika proizvodstva vysokoprochnykh stalej dlya magistralnykh neftegazoprovodov* [Modern alloying systems and the practice of producing high-strength steels for main oil and gas pipelines]. *Metallurg* [Metallurgist], 2013, vol. 2, no. 12, pp. 58–62.
4. Lisin Yu.V. *Issledovaniya fiziko-himicheskikh svoystv stali dlitelno ehkspluatiruemykh truboprovodov, ocenka resursa bezopasnoj raboty* [Investigations of the physical and chemical properties of steel for long-term operation of pipelines, assessment of the safe work resource]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov* [Science and technologies of pipeline transport of oil and oil products], 2015, no. 4, pp. 18–28.
5. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romancev B.A., Samusev S.V. *Tekhnologiya trubnogo proizvodstva* [Technology of pipe production]. Moscow, Internet inzhiniring, 2002. 638 p.
6. Shevakin Yu.F., Kolikov A.P., Romanenko V.P., Samusev S.V. *Mashiny i agregaty dlya proizvodstva stalnykh trub* [Machines and units for the production of steel pipes]. Moscow, Internet inzhiniring, 2007. 388 p.
7. Neganov D.A., Nesterov G.V., Bogach A.A. *Kompyuternoe modelirovanie processa formovki trubnoj zagotovki bolshogo diametra* [Computer simulation of the process of forming large-diameter pipe billets]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov* [Science and technologies of pipeline transport of oil and oil products], 2017, no. 2, pp. 48–55.
8. GOST 1497-84. *Metod ispytaniy na rastyazhenie* [State Standart 1497-84. Tensile test method].
9. GOST 9454-78. *Metally. Metod ispytaniya na udarnyj izgib pri ponizhennykh, komnatnoj i povyshennykh temperaturah* [State Standart 9454-78. Metals. Test method for impact bending at low, ambient and elevated temperatures].
10. Gurova S.A., Kondratov L.A. *O razvitiy proizvodstva i potrebleniya trub* [On the development of production and consumption of pipes]. *Stal* [Steel], 2013, no. 7, pp. 50–58.
11. GOST 4543-71. *Prokat iz legirovannoy konstrukcionnoj stali. Tekhnicheskie usloviya* [State Standart 4543-71. Alloyed structural steel roll. Technical specifications].
12. Odesskij P.D., Smirnov L.A., Kulik D.V. *Mikrolegirovannyye stali dlya severnykh i unikalnykh metallicheskih konstrukcij* [Microalloyed steels for northern and unique metal structures]. Moscow, Internet Inzhirirng, 2006. 176 p.
13. Korotovskaya S.V., Orlov V.V., Hlusova E.I. *Upravlenie processami strukturoobrazovaniya pri termomekhanicheskoy obrabotke sudostroitelnykh i trubnykh stalej unificirovannogo himicheskogo sostava* [Control of the processes of structure formation in thermomechanical processing of shipbuilding and pipe steels of unified chemical composition]. *Metallurg* [Metallurgist], 2014, no. 5, pp. 71–78.
14. Shabalov I.P., Solov'ev D.M., Filippov G.A., Livanova O.V. *Vliyaniye formovki na valcah na kompleks mekhanicheskikh svoystv metalla ehlektrosvarnykh trub bolshogo diametra* [Influence of rolls forming on a complex of mechanical properties of metal of large-diameter electrically welded pipes]. *Problemy chyrnoy metallurgii i materialovedeniya* [Problems of ferrous metallurgy and materials science], 2015, no. 1, pp. 60–69.
15. Belyj A.P., Isaev O.B., Matrosov Yu.I., Nosochenko A.O. *Centralnaya segregacionnaya neodnorodnost v nepreryvnykh listovykh zagotovkakh i tolstolistovom prokate* [Central segregation heterogeneity in continuously cast sheet blanks and plate]. Moscow, Metallurgizdat, 2005. 136 p.