



Лаптев Сергей Константинович,
Заместитель директора по развитию, ООО «ПЛАТИНУМ-Сервис»

Sergey Laptev,
Deputy Director, Business Development, Platinum-Service LLC

Влияние восстановительной наплавки на структуру и механические свойства зоны соединения сваркой трением бурильных труб

How Tool Joint Build-Up And Extension Affects the Structure and Physical Properties of the Tool Joint and Drill Pipe Body Friction Weld Zone

Вдобывающих отраслях промышленности строительство нефтяных и газовых скважин сопряжено со значительным износом наружной поверхности бурильного инструмента, в особенности на горизонтальных интервалах, поэтому для ремонта бурильных труб применяют различные технологии наплавки, как восстановления наружного диаметра, так и удлинение замковых соединений.

При производстве сварочных работ по удлинению замкового соединения наплавляемый слой перекрывает участки сварки трением и ЗТВ (зона термического влияния) на высаженной части трубы и замка. Влияние наплавки на основной металл и сварной шов, в данном случае, недостаточно изучено.

The construction of oil and gas wells produces considerable wear and tear on the outer surface of drill pipes, especially those operating in horizontal sections, therefore various tool joint build up techniques have been used for both the repair of the outer diameter and to extend the tool joint.

During welding operations to extend the tool joint, the tool joint build up layer overlaps the friction welded areas and the heat affected zones of the upset section of the pipe and joint. The effect of the applied build up wire on the base metal and the friction weld zone has not been sufficiently studied.

This study was targeted to determine the impact and role of the build up wire on the formation, structure, and mechanical properties of the low-alloy pearlitic steels.

Настоящая работа направлена на определение роли наплавки на формирование структуры и механических свойств низколегированных перлитных сталей.

Исследовали структуру наплавов, ЗТВ наплавов, зону сварки трением, перекрытие ЗТВ наплавки и ЗТВ сварного шва. Показано слабое влияние на механические свойства перекрытия зон. Механические свойства до и после создания соединений почти не отличались. Определены размеры зерен и межпластинчатые расстояния. Размеры элементов структуры, пластинок у второго (внешнего) слоя наплавки почти в полтора раза меньше размеров реек и межпластинчатого расстояния в других областях изделий, но пластинчатая структура перлита сохранялась, ферритных полей мало.

Введение

Структура и состав стали существенно влияют на процессы сварки и наплавки. Современные транспортируемые среды большинства нефтяных месторождений характеризуются наличием растворенных CO_2 , H_2S . Поэтому стоят задачи получения прочной, надежной и однородной, с повышенной коррозионной стойкостью, структурой стали.

Трубы обычно изготавливают из сплавов системы Fe-Mn-Si-(V), стали типа 09Г2С, 20Ф, 09ГСФ, 17Г1С, 14Г2 имеют невысокий уровень механических характеристики и низкую коррозионную стойкость в средах с CO_2 . Наибольшую стойкость к коррозионно-механическому разрушению имеет сталь 08ХМФА, характеристики которой можно еще несколько улучшить микролегированием.

Бурильные трубы изготавливают из сталей типа 32Г2, 38ХГМА, 40ХГМА, 40ХН2МА. Структура низкоуглеродистых сталей, применяемых для сварки – ферритно-перлитная (ФПС). ФПС шва и зоны термического влияния (ЗТВ) получают после сварки в широких интервалах варьирования температуры нагрева и скорости охлаждения. Стали с содержанием углерода до 0.25-0.3 %С обеспечивают качественные сварные швы, равномерное распределение участков перлита и феррита в сердцевине свариваемых деталей и в ЗТВ.

Радикальным способом повышения прочности является применение перлитных сталей (ПС). Для низколегированных сталей рост прочности $\Delta\sigma$ за счет увеличения доли перлита может быть

Research has been conducted on the structure of the build up zones, the friction weld zone, the overlapping heat affected zones of the build up area and the friction weld. It was discovered that the overlapping zones had a low influence on the mechanical properties. The mechanical properties did not vary much before and after the tool joint was connected to the pipe body. The grain size and the interlamellar spacing were also determined. The size of the structural elements of the plates, near the second (outer) facing layer, were almost one and a half times smaller than the size of the laths and interlamellar spacing in the different parts of the elements, however, the plate-like structure of pearlite remained unchanged, and the number of ferrite fields was insignificant.

Introduction

The structure and composition of steel has a significant influence on the processes of welding and tool joint build up wire application. Most of the fluids in oil fields have a dissolved CO_2 and H_2S presence. The task has thus been set to obtain a robust, reliable and homogeneous steel structure, with increased corrosive resistance.

Pipes are usually manufactured from Fe-Mn-Si-(V) alloy, steel types 09G2S, 20F, 09GSF, 17G1C, 14G2 that do not have the feature high levels of mechanical properties and low corrosive resistance for CO_2 phases. The maximum resistance to corrosion and mechanical failure was demonstrated by steel type 08HMFA, whose properties can be also slightly increased improved with microalloying.

Drill pipes are manufactured from steel types 32G2, 38HGMA, 40HGMA and 40HN2MA. The structure of low carbon steels used for welding are ferrite-pearlitic (FPS). The FPS of a joint the friction weld and the heat affected zone (HAZ) were measured after welding in wide range of heating temperatures and cooling rates. Steels with carbon content of up to 0.25-0.3%С ensures high-quality friction weld zones, uniform distribution of the pearlite and ferrite sectors in the core of the weld and in the HAZ.

An efficient way to increase the strength is the use of pearlite-type steels (PS). For low-alloy steels, the strength increase $\Delta\sigma$ due to the increased part of pearlite, can be determined using the following expression (1)

$$\Delta\sigma = 2.4\P, \quad (1)$$

where Π – is a volume fraction of the pearlite component, %.

определен из выражения (1)

$$\Delta\sigma=2.4П, \quad (1)$$

где П – объемная доля перлитной составляющей, %.

Другим фактором, определяющим прирост прочности – дисперсность ПС. В легированных сталях образуется псевдоперлит с содержанием углерода меньше эвтектоидного.

Качество бурильных труб зависит от 2 основных показателей: коррозионная стойкость и конструкционная прочность. В свою очередь структурный состав стали и определяет эксплуатационные свойства. Работоспособность изделий во многом также определяет конструкция.

ПС имеют более высокую прочность по сравнению с ФПС, и предпочтительным способом их соединения является сварка трением.

Цель работы: определение структуры ЗТВ, сердцевины, наплавки и области ее соединения с поверхностью трубы после сварки трением перлитных сталей.

Методы исследований и эксперимента

Наплавку бурильной трубы СБТ-89х9,35, группы прочности S135 осуществляли с помощью сварочного аппарата Castolin DS-XM с вращателем и шаговым двигателем продольного перемещения, производства ООО «ПЛАТИНУМ-Сервис», допускающим автоматические режимы наплавки. Для наплавки использовали сварочную проволоку диаметром до 3 мм, газовую смесь типа Ar/15-25CO₂.

Another factor determining the strength increase is PS dispersiveness. Pseudopearlite is formed in alloyed steels with lower carbon content than it is in the eutectoid composition.

The quality of drill pipes depends on two basic parameters: corrosion resistance and structural integrity. The structural composition of steel determines its serviceability. The durability of the product is very much determined by their its design.

Pearlite-type steels (PS) have higher strength compared with FPS, and friction welding is a preferred method for connection connecting them together.

Work objective: to determine the HAZ structure, the core, facing and areas of its connection with a pipe surface as a result of friction welding using the pearlite- steels.

Research and Test Methodology

The build-up wire was applied to a SBT-89x9,35 drill pipe tool joint, strength group S135, using a Castolin DS-XM welding unit, with a pipe rotator and length travel stepper motor manufactured by PLATINUM-Service, allowing an automated application. A 3mm build-up wire was used with a Ar/15-25CO₂ gas mixture.

The coulometric method was used to analyze the carbon and sulfur content, using an online analyzer AH-7529M (for carbon) and type AC-7932M (for sulfur).

The composition of the steel was determined through chemical testing and X-ray spectroscopy, using a Mira 3 TESCAN Oxford Instruments X-Max electron microscope.

Название детали Part name	Химический состав, масс. % Chemical composition, weight. %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Mo	Al	S	P
Тело трубы Pipe body	0.26	0.23	1.07	0.99	-	-	-	0.07	0.30	0.035	0.001	0.007
Тело замка Joint body	0.36	0.27	0.93	1.07	0.04	0.30	0.06	-	0.30	-	0.001	0.007
НП (1Т46785)* BU(1Т46785)*	0.34	1.16	1.01	1.04	0.07	0.01	0.1	0.01	0.01	-	0.006	0.014

Примечание: НП – наплавляемая проволока, * – условное обозначение плавки. Note: BU stands for "Build Up Wire", * – melting process indicated.

Таблица 1: Химический состав элементов буровой трубы и наплавочной проволоки.

Table 1: Chemical composition of drill pipe elements and hardfacing wire

Анализ содержания углерода и серы проводили кулонометрическим методом с помощью экспресс-анализатора АН-7529М (на углерод) и АС-7932М (на серу).

Составы сталей – химическим анализом и рентгеноспектральным методом на электронном микроскопе MIRA 3 TESCAN OXFORD INSTRUMENTS X-MAX.

Химический состав материала исследуемых деталей представлен в [таблице 1](#).

Для определения механических свойств материала бурильной трубы высаженной части, сварного шва, наплавки и основного материала трубы проведены испытания на растяжение продольных пятикратных образцов типа III № 7 на разрывной машине УЭМ-10Т при комнатной температуре, скорости нагружения 5 мм/мин и масштабе записи 25 в соответствии с ГОСТ 1497-84 с учетом требований ASTM A370, испытания ударной вязкости стандартных образцов типа 11 при температуре +20°C на маятниковом копре КМ-30 в соответствии с ГОСТ 9454-78 с учетом требований ASTM E23; измерение твердости по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012-59, по Роквеллу вдавливанием конуса, ГОСТ 9013-59, и микротвердости на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9450-71, металлографический анализ - на Neophot-32 и на цифровом инвертированном микроскопе Zeiss Axiovert 40MA, электронно-микроскопический анализ на Hitachi S-3400N и Phenom Pro X.

Результаты и их обсуждение

Как следует из [таб. 1](#) для изготовления трубы

The chemical composition of the material of the parts under study is presented in Table 1.

To determine the mechanical properties of the drill pipe upset end, friction weld, the build up layer and the base metal, tensile tests were carried out for fivefold longitudinal test specimen type III #7 using a tensile test machine type UEM-10T (УЭМ-10Т) under room temperature, the load application rate of 5mm/min, and recorder scale of 25, in accordance with GOST 1497-84, taking into account ASTM A370 requirements; through the tensile impact test for standard specimen type 11 under the temperature of +20 OC using impact testing machine type KM-30 in accordance with GOST 9454-78, taking into account ASTM E23 requirements; through the Brinell hardness test, in accordance with GOST 9012-59; through the Rockwell hardness test using cone indentation, GOST 9013-59; through the micro-hardness test using PMT-3 device, in accordance with GOST9450-71; through the metallographic analysis, using Neophot-32 instrument and digital inverted-stage microscope Zeiss Axiovert 40MA; through the submicroscopic analysis, using HitachiS-3400N and PhenomProX.

Review of the Results

As it follows from Table 1, low-alloy steels, similar by their composition and mechanical properties, were used for manufacturing the pipe body and the tool joint, featuring rather high tensile strength (at a level of 1000 MPa) and KCV of not less than 120 J/cm² , [Table 2](#).

Schematic diagram of weld seam and build up zones is illustrated in [Fig.1](#).

Механические свойства \ Название детали Mechanical properties \Part name	Предел текучести (σ _{0.2}), МПа Yield strength (σ _{0.2}), МПа	Временное сопротивление (σ _B), МПа Ultimate stress limit (σ _B), МПа	Относительное удлинение (δ), % Elongation per unit length (δ), %	Ударная вязкость (KCV ⁺²⁰), Дж/см ² Impact strength (KCV ⁺²⁰), J/cm ²	Твердость, HRC (зона на рис. 1) Hardness, HRC (zone in Fig. 1)
Тело трубы Pipe body	1020	1090	21	159	31,8 (8)
Сварной шов Weld seam	810	890	19	120	28,6 (5)
Тело замка Joint body	1010	1100	21	128	31,7 (1)
НП BW	830	1080	10	-	30.0

Примечание: НП – наплавляемая проволока Note: BU stands for "Build Up Wire".

Таблица 2: Механические свойства элементов буровой трубы и наплавочной проволоки

Table 2: Mechanical properties of drill pipe components and hardfacing wire

и замка использовали, близкие по составу и механическим свойствам, низколегированные стали с достаточно высоким пределом прочности (на уровне 1000 МПа) и ударной вязкостью KCV не менее 120 Дж/см², таб. 2.

Схематическое изображение сварного шва и наплавки показано на рис. 1.

Результаты измерений механических свойств при испытании на растяжение, распределение твердости (рис. 2) и ударная вязкость, указывают на то, что стали имеют структуру перлитного типа.

Твердость в поверхностном слое наплавки имеет значения 290-300HV, что объясняется высокой скоростью охлаждения расплава и формированием сорбито-перлитной структуры. В средней части наплавленного слоя значения монотонно снижаются, что обусловлено замедленным охлаждением.

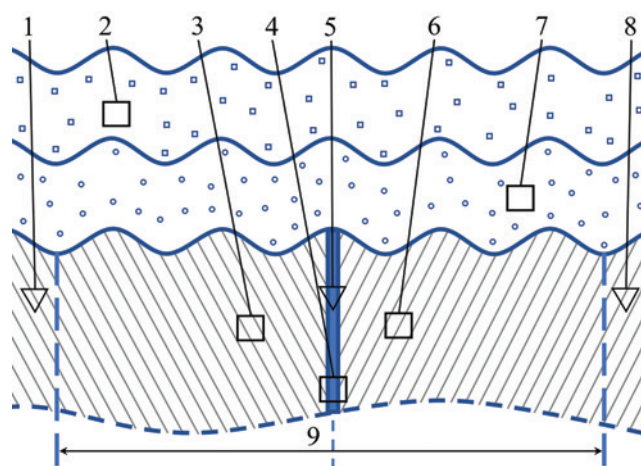


Рис. 1: Схематическое изображение сварного шва и наплавки. 1, 5, 8 – место замера твердости на замке, сварном шве и трубе, соответственно, 2, 7 – первая и вторая наплавки, 3 – замок, 4 – сварной шов, 6 – труба, 9 – ширина зоны термического влияния (ЗТВ).

Fig. 1: Schematic diagram of weld seam and build up zones. 1, 5, 8 – hardness measurement points from the joint, weld seam and the pipe, correspondingly, 2, 7 – the first and second build up zones, 3 – joint, 4 – weld seam, 6 – pipe, 9 – heat affected zone (HAZ) width.

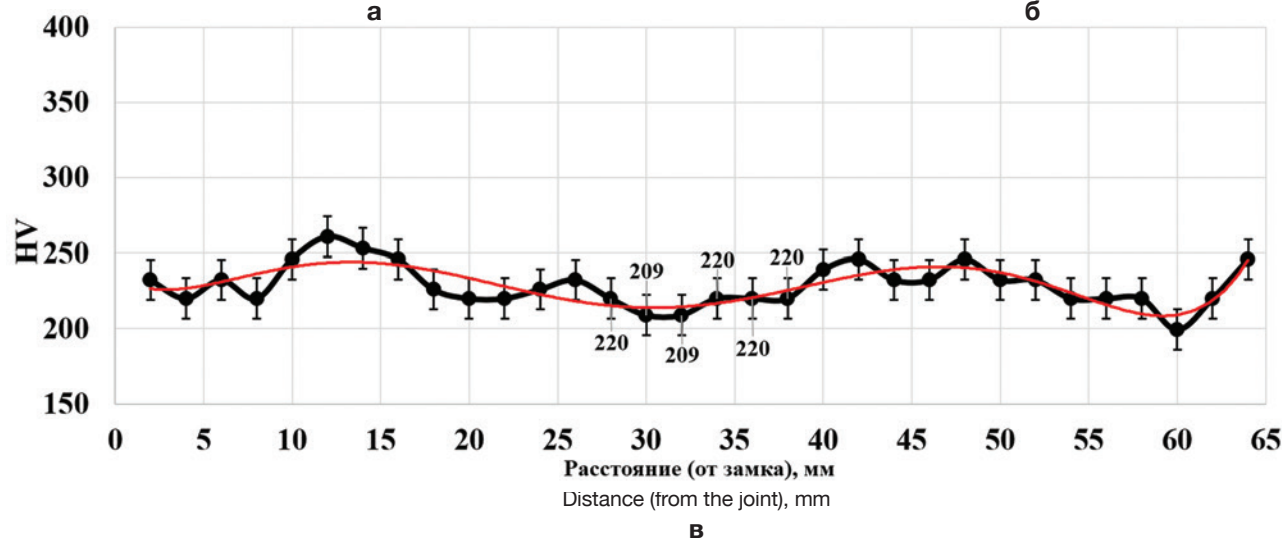
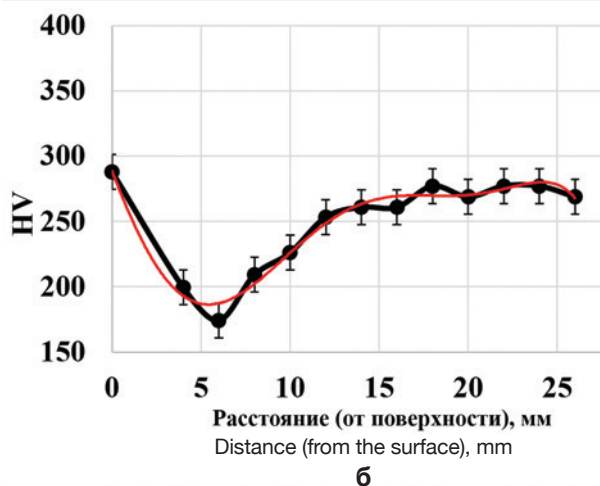
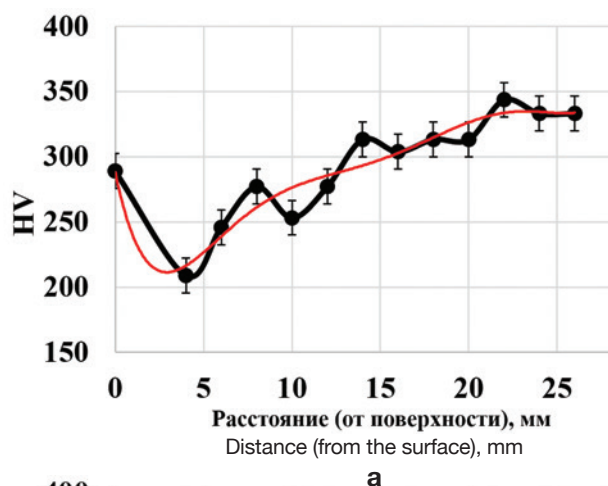


Рис. 2: Изменение микротвердости в замке (а), трубе (б) и при измерении от замка к трубе через зону сварного шва (в).

Fig. 2: Measurement of microhardness in the joint (a), pipe (б) and step-by-step measurement from the joint to the pipe via the weld seam area (в)

При движении от наплавки к материалу основы замка и тела трубы твердость монотонно повышается до 280-340 HV, рис. 2, (а, б), изменения твердости в области наплавки видны и в зонах термического влияния. В ЗТВ сохраняется твердость на уровне 260-280HV, минимальная твердость определена на расстоянии 6 мм от наружной поверхности наплавки.

Measurement output data for mechanical properties during tensile test, hardness profile (Fig.2) and KCV indicated that the steels have the pearlite-type structure.

Hardness in the surface adjacent zone of the build up layer shows 290 to 300 HV which can be explained by the high cool-down rate of the puddle and by the

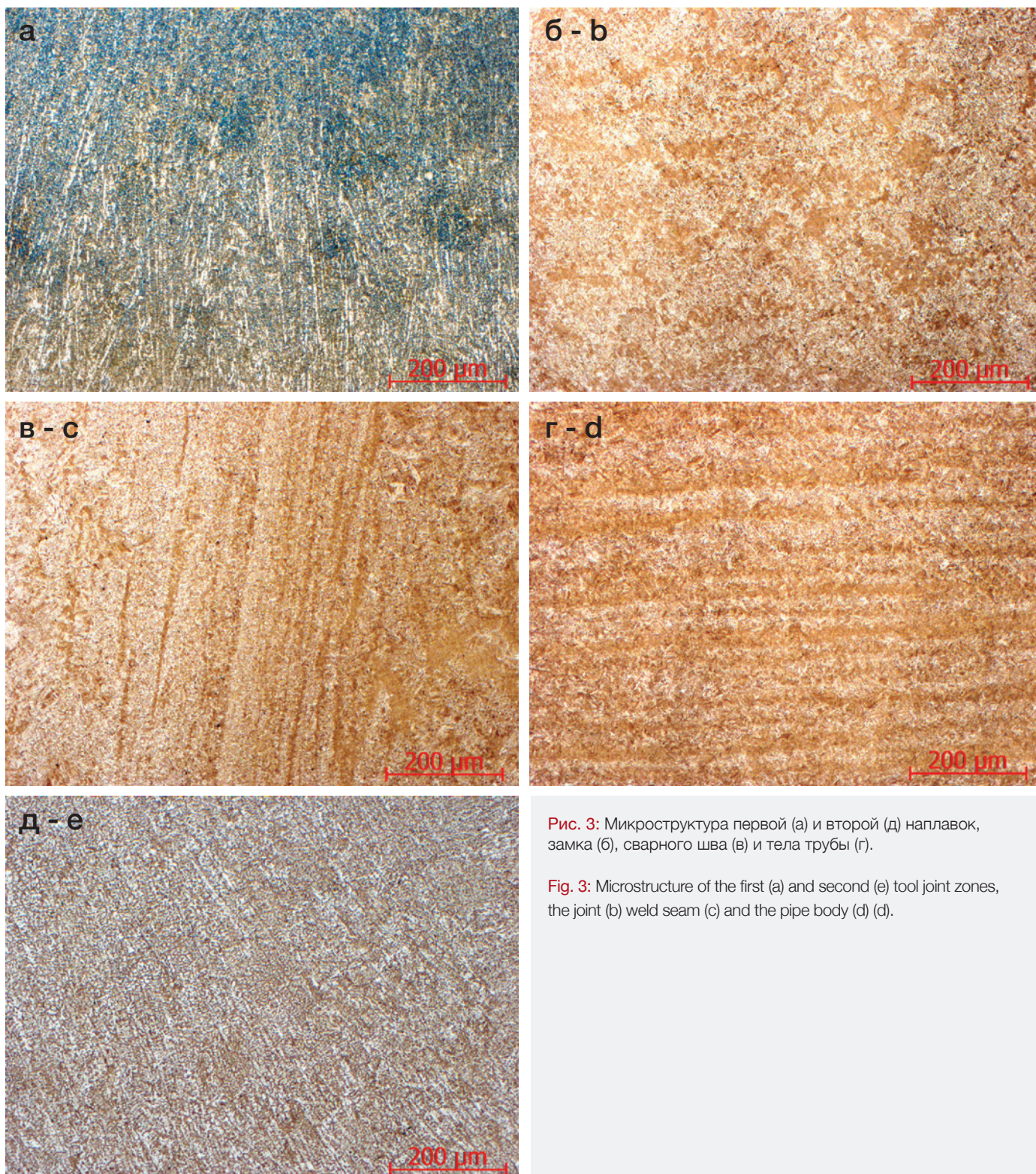


Рис. 3: Микроструктура первой (а) и второй (д) наплавки, замка (б), сварного шва (в) и тела трубы (г).

Fig. 3: Microstructure of the first (a) and second (e) tool joint zones, the joint (b) weld seam (c) and the pipe body (d).

Замеры твердости в продольном направлении, рис. 2 (в) выполненные в основном материале через весь образец, показали, что при сварке трением зона сварки по твердости не сильно отличается от других областей. В ЗТВ сварного шва микротвердость находилась в интервале 209-220HV. Микроскопически и визуальнo изменения видно, рис. 3, 4. Небольшой рост твердости вблизи поверхностей и зон термического влияния объясним более высокой скоростью охлаждения.

В результате электронно-микроскопических исследований получены следующие данные о структуре, рис. 4, табл. 3.

Величина среднего действительного размера зерна варьируется в узком интервале от 15 мкм в зоне поверхности наплавки до 44 мкм в зоне основного материала, табл. 4. Результат хорошо согласуется с данными механических испытаний.

Стоит отметить, что дефекты металлургического характера типа несплошности, микротрещины, поры в исследуемых структурах не обнаружены.

sorbite-pearlitic structure that formed. The values uniformly decrease in the mid zone of the applied layer which is conditioned by cooling.

Hardness uniformly increases from the applied layer to the tool joint and the pipe body material up to 280-340 HV, see Fig.2, (a,b); hardness variations can be also observed in the heat affected zones. Hardness in the HAZ stays at 260-280 HV, the minimum hardness value was determined at a distance of 6 mm from the outer surface of the tool joint.

Hardness lengthways measurements, Fig.2 (в) carried out in the base metal throughout the entire test specimen revealed that, when performing friction welding, the weld zone did not differ much by hardness from the other areas. The microhardness value in the HAZ of the weld seam was in the range of 209 – 220 HV. Some changes could be observed both microscopically and visually, Fig.3, 4. A little increase in hardness near the surface and heat affected zones can be explained by higher cooling rate.

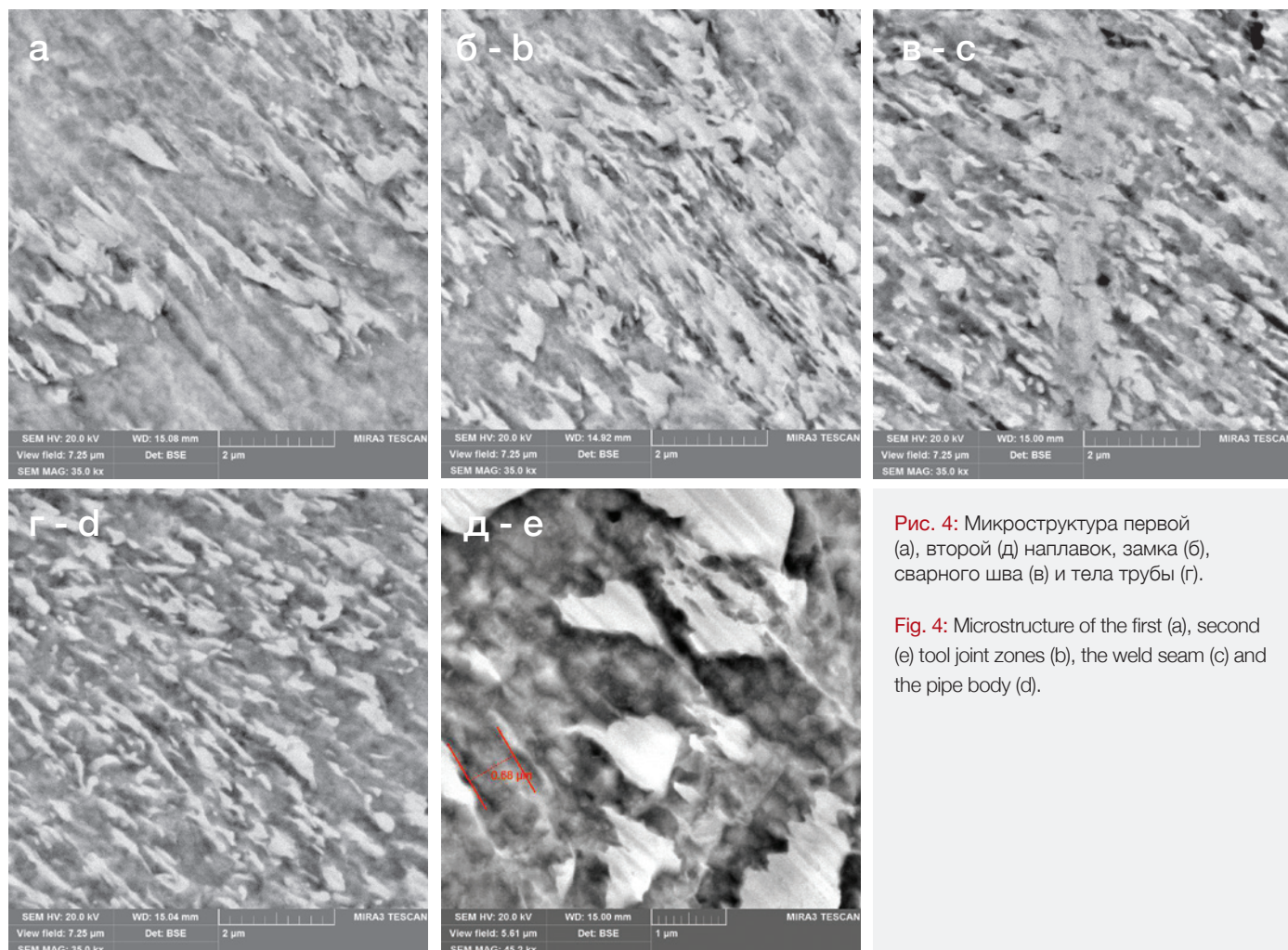


Рис. 4: Микроструктура первой (а), второй (д) наплавки, замка (б), сварного шва (в) и тела трубы (г).

Fig. 4: Microstructure of the first (a), second (e) tool joint zones (b), the weld seam (c) and the pipe body (d).

Место анализа Spot of analysis	Средний размер пластинок Ferrite plate average size		Межпластинчатое расстояние, нм Interlamellar spacing, nm
	феррита, нм Ferrite, nm	цементита, нм Cementite, nm	
Наплавка № 1 (рис. 4, а) Tool joint zone # 1 (Fig. 4, a)	190	170	360
Замок (рис. 4, б) Joint (Fig. 4, b)	275	295	570
Сварной шов (рис. 4, в) Weld seam (Fig. 4, c)	270	265	540
Труба (рис. 4, г) Pipe (Fig. 4, d)	240	235	475
Наплавка № 2 (рис. 4, д) Tool Joint zone # 2 (Fig. 4, e)	680	780	1500

Таблица 3: Результаты анализа пластинчатой структуры Table 3: The results of the plate-like structure analysis

Характеристика места измерения (№ зоны на рис. 1) Measurement point characteristics (Zone # in Fig.1)	Номер зерна Grain number	Средний диаметр зерна, мкм Average grain diameter, mkm
Наплавка №1 (2) Tool Joint zone # 1 (2)	8-9	15-22
Замок (3) Joint (3)	6-7	31-44
Сварной шов (4) Weld seam (4)	8	22
Труба (6) Pipe (6)	7	31
Наплавка №2 (7) Tool Joint zone # 2 (7)	8	22

Таблица 4: Результаты анализа зеренной структуры Table 4: The results of the grain structure analysis

Выводы

Сварка трением оказывает незначительное влияние на структуру и распределение твердости в зонах термического влияния.

Наплавка сильно влияет на распределение твердости в примыкающих областях, но позволяет сохранить структуру перлитного типа. Судя по полученным результатам прочность феррито-перлитных сталей подчиняется правилу аддитивности с учетом дисперсности перлита. Высокая скорость охлаждения поверхности после оплавления является причиной образования сорбито-перлитной структуры в поверхностном слое, которая переходит в

The following data of the structure were obtained from an electron microscope investigation Fig.4, Table 3.

The average effective grain size varies within a narrow range of 15 mkm in the applied layer top zone, to 44 mkm in the base metal zone, see Table 4. The result fits in well with the mechanical testing outputs.

It should be noted that no defects of metallurgical character like discontinuity flaws, microfissures, pores etc. were detected in the structures under study.

перлитную в удаленных от поверхности областях.

Выбранные режимы наплавки не вызывают критического влияния на структуру сварного шва и его ЗТВ, трещины не образуются.

Произведенное исследование влияния наплавки на структуру и свойства бурильной трубы позволяет утверждать о возможности качественного восстановления технических параметров бурильных труб для дальнейшей эксплуатации. В то же время перспективным направлением является увеличение ресурса замков бурильных труб упрочнением твердосплавной наплавкой (Хардбендинг) – износостойкое защитное металлическое покрытие, нанесенное методом наплавки на наружную поверхность замка бурильной трубы.

При должном уровне контроля за состоянием при эксплуатации бурового инструмента, соблюдением технических регламентов, и своевременном сервисном обслуживании не потребуются массовое восстановление геометрических параметров методами наплавки.

Список литературы

1. Бабенко, А. А. Структура и свойства низкоуглеродистой трубной стали 17Г1С–У, микролегированной бором / А. А. Бабенко, В. И. Жучков, Н. И. Сельменских, А. Г. Уполовникова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. Том 61. – № 10. – С. 774-779.
2. Caltaru M. Tribological characterization of the drill pipe tool joints reconditioned by using welding technologies / M. Badicioiu, R. G. Ripeanu, A. Dinuta, M. Minescu, E. Laudacescu. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2018. Vol. – 295 012010. doi:10.1088/1757-899X/295/1/012010.
3. Han, L. A new method to determine the required impact toughness for petroleum drill pipe used in critical sour environment / F. Hu, H. Wang, Y. Feng, H. Li // Procedia Engineering. – 2011. Vol. – 16. P. 667-672. doi:10.1016/j.proeng.2011.08.1139.
4. Yan, H. Failure Analysis on Fracture of a S135 Drill Pipe / Z. Xuehu, B. Zhenquan, Y. Chengxian // Procedia Materials Science. – 2014. Vol. – 3. P. 447 – 453. doi: 10.1016/j.mspro.2014.06.075.

H. Li // Procedia Engineering. – 2011. Vol. – 16. P. 667-672. doi:10.1016/j.proeng.2011.08.1139.

4. H. Yan Failure Analysis on Fracture of a S135 Drill Pipe / Z. Xuehu, B. Zhenquan, Y. Chengxian // Procedia Materials Science. – 2014. Vol. – 3. P. 447 – 453. doi: 10.1016/j.mspro.2014.06.075.

Conclusions

Friction welding has a negligible influence on the structure and hardness profile in the heat affected zones.

The build up wire application strongly affects the hardness profile in adjacent areas but it makes it possible to maintain the pearlite-type structure. Judging by the results, the hardness of the ferritic and pearlitic steels conforms to the rule of additivity, with consideration given to the dispersiveness of pearlite.

The high cooling rate of the surface following the application is the cause of the formed sorbito-pearlitic structure in the build up layer, which transforms into the pearlitic one in the areas away from the surface.

The selected build up application modes have no marginal impact on the structure of the friction weld and its heat affected zones (HAZ), no cracking occurred.

The research into the influence of tool joint build up wires on the structure and properties of drill pipe makes it possible to repair the pipe without negatively affecting its characteristics and to extend its run life.

On the other hand, a promising way to extend the lifetime of the tool joint is to apply a hardbanding wire to further protect the tool joint. Hardbanding is a wear resistant protective metal layer, applied to the external surface of the drill pipe tool joint.

The tool joint build up and extension will not be required for most of the drill pipes if the pipe owners implement proper monitoring of the hardbanding layer condition and height, followed the existing technical procedures, and inspecting their pipes regularly.

List of References

1. A.A. Babenko, V.I. Zhuchkov, N.I. Sel'menskikh, A.G. Upolovnikova Structure and properties of 17G1S-U low-carbon pipe steel microalloyed by boron. Higher Education News. Iron and Steel Industry. – 2018. Vol 61. – Issue 10. P.774-779.
2. M. Caltaru Tribological characterization of the drill pipe tool joints reconditioned by using welding technologies / M. Badicioiu, R. G. Ripeanu, A. Dinuta, M. Minescu, E. Laudacescu. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2018. Vol. – 295 012010. doi:10.1088/1757-899X/295/1/012010.
3. L. Han. A new method to determine the required impact toughness for petroleum drill pipe used in critical sour environment / F. Hu, H. Wang, Y. Feng,