



ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОПОРШКОВОЙ НАПЛАВКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТА "АРКТИКА"

В.Я.Панченко¹, В.В.Васильцов¹, *v.vasiltsov@mail.ru*,
И.Н.Ильичев¹, А.В.Богданов², А.Г.Григорьянц²,
К.И.Макаренко², М.В.Таксанц²

¹Институт проблем лазерных и информационных
технологий Российской академии наук;

²Московский государственный университет
им. Н.Э.Баумана

Поскольку экономика Российской Федерации в настоящее время в значительной степени опирается на экспорт за рубеж запасов нефти и газа, принято решение приступить к разработке и освоению новых месторождений полезных ископаемых в Арктической зоне. Эксплуатация оборудования в арктической зоне требует от инструмента повышенной надежности при работе в жестких климатических условиях. В статье представлены отечественные установки и разработанные технологии газопоршковой лазерной наплавки и термической обработки для восстановления, ремонта и повышения эксплуатационных характеристик бурового оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед нашей страной остро стоит проблема истощения крупнейших месторождений полезных ископаемых, в частности нефти и природного газа. К таким месторождениям относятся Мигеонское, Самотлорское, Уренгойское, Ямбургское и ряд других. Согласно большинству экспертных оценок, запасов нефти и газа в этих месторождениях хватит еще всего лишь на несколько десятков лет. Поскольку экономика Российской Федерации в настоящее время в значительной степени опирается на экспорт за рубеж именно этих ископаемых, необходимо в короткие сроки приступить к разработке и освоению новых месторождений. На данный момент известно, что таковые располагаются в Сибири, в области шельфа Северного Ледовитого океана и в ряде

LASER TECHNOLOGIES OF GAS POWDER SURFACING AND HEAT TREATMENT OF DRILLING EQUIPMENT FOR ARCTICA PROJECT TASKS

V. Ya. Panchenko¹, V. V. Vasiltsov¹, *v.vasiltsov@mail.ru*,
I. N. Ilichev¹, A. V. Bogdanov², A. G. Grigoryants²,
K. I. Makarenko², M. V. Taksants²

¹Institute on Laser and Information Technologies of the
Russian Academy of Sciences

²Bauman Moscow State University

Since nowadays the economy of the Russian Federation depends greatly on export of these mineral deposits, it is necessary to start development and exploitation of new deposits in a short space of time. Thereby, it is necessary to start rapidly development and sophistication of the technologies for reconditioning, repair and enhancement of performance characteristics of the drilling equipment used for extraction of mineral deposits, particularly, in the Arctic zone. The list of domestic manufacturers of drilling equipment is shown. Domestic laser installations for such technologies are described in the article.

INTRODUCTION

Nowadays our country faces the urgent problem of depletion of the largest, in particular, oil and natural gas mineral deposits. Such deposits include Megion, Samotlor, Urengoy, Yamburg and many others. According to the majority of expert estimates oil and gas reserves in these deposits will run short in as little as a few decades. Since nowadays the economy of the Russian Federation depends greatly on export of these mineral deposits, it is necessary to start development and exploitation of new deposits in a short space of time. For the time being these deposits are known to be located in Siberia, near the shelf of the Arctic Ocean and in a number of other arctic areas. Thereby, domestic manufacturing engineers specializing in the field of highly efficient processes of material processing, in particular, in the field of laser technologies, face the following tasks: to start rapidly development and sophistication of technologies for reconditioning, repair and enhancement of



арктических территорий. В связи с этим перед отечественными инженерами-технологами, специализирующимися в области высокоэффективных процессов обработки материалов, в частности в области лазерных технологий, встают следующие задачи: оперативно приступить к разработке и усовершенствованию технологий восстановления, ремонта и повышения эксплуатационных характеристик бурового оборудования, используемого для добычи данных полезных ископаемых.

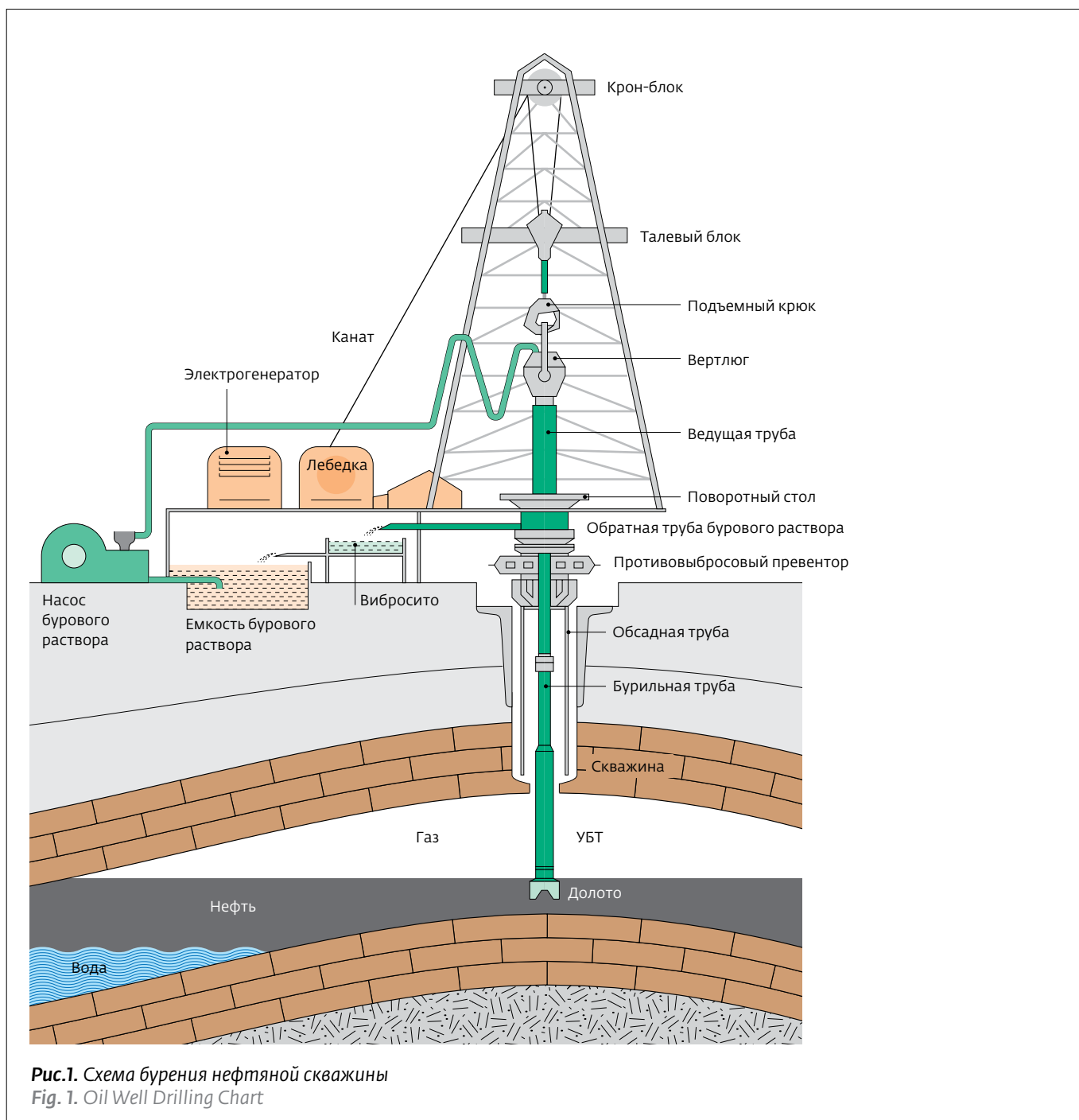
Эти технологии должны обеспечить ряд требований, предъявляемых к буровому оборудованию: долговечность, износостойкость, коррозионная стойкость, механическая прочность и т.д. Помимо этого, необходимо учитывать, что лазерные источники энергии являются дорогостоящими. Для того чтобы применение лазерных технологий было экономически оправдано, необходимо, чтобы при их использовании достигались более высокие свойства обрабатываемых деталей по сравнению с традиционными методами, а также снижалась частота необходимости прибегать к ремонтно-восстановительным операциям.

performance characteristics of the drilling equipment used for extraction of these mineral deposits.

These technologies have to comply with a number of requirements imposed on drilling equipment: durability, wear resistance, corrosive resistance, mechanical strength, etc. Moreover, it must be considered that laser energy sources are expensive. In order to ensure economic feasibility of the laser technologies used, it is necessary to ensure higher properties of live parts, in comparison with traditional methods, as a result of the use of such technologies, and to decrease the frequency of falling back upon repair and reconditioning operations.

First of all, such technologies include gas powder laser surfacing and laser heat strengthening. The major part of this paper is devoted to their consideration. In addition, main modifications of drilling equipment to be laser processed are summarized in the paper. Interoperation of essential components and assemblies of the drilling rig derrick in the course of drilling, oil well drilling chart with designation of key elements are shown in Fig. 1.

Bottom-hole assembly equipment is the most interesting for the laser processing specialist since such equipment needs to be primarily repaired and reconditioned; its performance characteristics need



К подобным технологиям относятся, в первую очередь, газопорошковая лазерная наплавка и лазерное термическое упрочнение. Их рассмотрению отводится основная часть настоящей работы. Помимо этого, в работе приводится краткая характеристика основных разновидностей бурового оборудования, подлежащего лазерной обработке. Взаимодействие важнейших узлов и агрегатов буровой вышки в процессе бурения,

to be primarily enhanced while using highly efficient energy sources.

MAIN TYPES OF DRILLING EQUIPMENT SUITABLE FOR LASER PROCESSING AND DOMESTIC MANUFACTURERS OF THEM

A brief description of them is given further on. Let's give examples of those types of drilling equipment which can be laser processed, surfaced

схема бурения нефтяной скважины с обозначением основных элементов приведена на рис.1.

Наибольший интерес для специалиста по лазерной обработке представляет оборудование, относящееся к нижней части буровой колонны, так как оно в первую очередь нуждается в ремонте, восстановлении и повышении эксплуатационных характеристик при использовании высокоэффективных источников энергии.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДХОДЯЩИЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ, И ЕГО ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

Далее в тексте статьи приводится их краткая характеристика. Приведем примеры тех видов бурового оборудования, которые могут быть подвергнуты лазерной обработке, наплавке и термообработке. Но сначала приведем перечень его отечественных производителей:

- "Завод бурового оборудования" (Оренбург);
- АО "Горные машины" (Москва, Красноярск, Екатеринбург);
- ЗАО "Александровский завод бурового оборудования" (Москва);

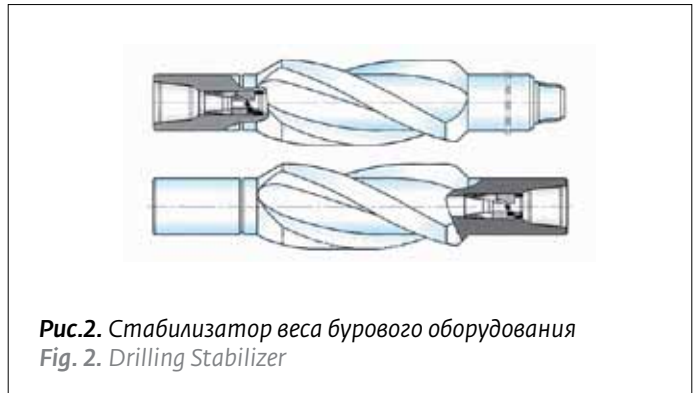


Рис.2. Стабилизатор веса бурового оборудования
Fig. 2. Drilling Stabilizer

and heat treated. But, first of all, let's list domestic manufacturers of such drilling equipment:

- Drilling Equipment Plant (Orenburg);
- Mining Machines, JSC (Moscow, Krasnoyarsk, Ekaterinburg);
- Aleksandrov Drilling Equipment Plant, JSC (Moscow)
- BURNSAB, LLC (Moscow);
- Sovremennaya Burovaya Tehnika, NPC;
- Burovaya Technika - VNIIBT, OJSC SPA (Moscow);
- Bulanash Machine-Building Plant, JSC as part of Generation, Industrial Group (Sverdlovsk region);

--	--

- ООО "БУРСНАБ (Москва);
- НПЦ "Современная буровая техника" (Москва);
- ОАО НПО "Буровая техника" – ВНИИБТ (Москва);
- ОАО "Буланашский машиностроительный завод" в составе промышленной группы "Генерация" (Свердловская область);
- АО "ПромТехИнвест" (Санкт-Петербург);
- АО "Стройдормаш" в составе промышленного холдинга "Уралинвестэнерго" (Свердловская обл.);
- Группа компаний "Интегра" (Москва).

Стабилизатор веса бурового оборудования – это специальный буровой инструмент, применяемый для предотвращения повреждений стенок скважины бурильной колонной при бурении. Стабилизатор (рис.2) осуществляет центрирование бурильной колонны и забойного двигателя, стабилизацию и изменение траектории ствола скважины. Материал рабочей поверхности (называемой также стенным контактом) состоит из твердых металлов с вставками из алмаза и карбида вольфрама. Условия работы – щелочная среда, температура от -50 до 60 °С, гидроабразивный износ.

Долото буровое – основной элемент бурового инструмента для механического разрушения горной породы на забое скважины в процессе её проходки. В основу классификаций буровых долот (рис.3) положены два признака: назначение и характер воздействия на породу.

Бурильная труба – основная составная часть бурильной колонны, предназначенная для спуска в буровую скважину и подъёма породоразруша-

- PromTehInvest, JSC (Saint Petersburg);
- Stroydormash, JSC as part of Uralinvestenergo, Industrial Holding Company (Sverdlovsk region);
- Integra, Group of Companies (Moscow).

Drilling stabilizer is a special-purpose drilling tool used to avoid damage to borehole walls caused by drill string while drilling. Stabilizer (Fig. 2) centralizes drill string and bottom-hole motor, stabilizes and changes well trajectory. Working surface (alternately referred to as a wall contact) is made of solid metals with diamond and tungsten carbide inserts. Working environment is as follows: alkaline medium; temperature ranging from -50 to 60 °C; hydro-abrasive wear.

Drill bit is the key element of the drilling tool designed for rock disintegration on the bottom hole while drilling. Drill bits are classified (Fig. 3) dependent on two ranking features: the purpose and nature of the impact on the rock.

Drill pipe is the major component of drill string designed to run in hole, lift a rock cutting tool, transmit rotation, generate axial load on the tool and convey drilling fluid to the bottom hole.

Drill pipes (Fig.5) are made seamless, of carbon or alloy steel, mainly upset. Drill pipes are 33.5-168 mm in diameter (drill pipes up to 60 mm in diameter are used mainly for exploratory core drilling).

Drill rod (Fig.6) is made of very strong high-carbon steel and used to transfer rotation from drilling rig to drill bit, auger. Moreover, drill rod serves to transfer impact force of the drilling installation to drill bit when percussive-rotary drilling is used. When fluid-circulation or air flushing drilling is used, drill fluid or air, respectively, is supplied through drill



Рис.3. Различные виды буровых долот
Fig. 3. Various Types of Drill Bits



Рис.4. Коронки буровые
Fig. 4. Drill Bits

ющего инструмента, передачи вращения, создания осевой нагрузки на инструмент, транспортированию бурового раствора к забою скважины.

Бурильные трубы (рис.5) изготавливают бесшовными, из углеродистых или легированных сталей, в основном с высадкой концов. Диаметр бурильных труб составляет 33,5-168 мм (бурильные трубы диаметром до 60 мм используют в основном для геологоразведочного колонкового бурения).

Буровая штанга (рис.6) изготавливается из очень прочной высокоуглеродистой стали, и применяется для передачи вращения от бурового станка на буровое долото, шнек. Так же буровая штанга служит для передачи ударной силы буровой установки на буровое долото при ударно-вращательном бурении. При бурении с промывкой или продувкой по буровым штангам подается, соответственно, буровой раствор или воздух. Так как буровые штанги подвергаются очень высоким нагрузкам, их выполняют из очень прочной стали. Уровень содержания углерода в стали определяет ее твердость. В зависимости от вида бурения скважин и размеров буровой установки, используют буровые штанги разных размеров и различной проч-



Рис.5. Бурильные трубы
Fig. 5. Drill Pipes

rods. Since drill rods are used under very high loads, they are made of very strong steel. Steel hardness is determined by the carbon content. Depending on the type of well drilling and dimensions of the drilling installation drill rods of various dimensions and strengths are used. There is no need to use expensive drill rods made of alloy steel, for example, for shallow water well drilling or when shallow-depth drilling installations are used. Meanwhile, when drilling deep oil or gas wells low-strength drill rods endanger the drilling process in view of the risk of breakdown of the auger system in the bore hole. The length of drill rod depends on the height of mast or drilling

ности. Нет необходимости применять дорогие буровые штанги из легированной стали для бурения, например, неглубоких скважин на воду или при бурении установкой на небольшую глубину. В то же время при бурении глубоких нефтяных или газовых скважин буровые штанги малой прочности ставят под угрозу процесс бурения, ввиду опасности обрыва бурового снаряда в стволе скважины. Длина буровой штанги зависит от высоты мачты или буровой вышки. Чем больше высота, тем больше ход вращателя буровой установки и длинна буровой штанги. В настоящее время существуют два основных способа закалки буровых штанг – водяная и масляная:

- Закалка водой – буровая штанга или другое изделие становится более прочным на сжатие, при этом более хрупким. Изделие легче поддается обработке, чем при масляном закаливании. При этом способе закаливания буровая штанга или другое изделие с трудом поддается сварке.
- Закалка в масле – происходит медленнее, чем в воде, металл более прочный. Буровая штанга, закаленная в масле, труднее поддается обработке и сварке.

При закалке водой изделие из стали нагревают до вишнево-красного цвета, а затем погружают в емкость с водой и дают остыть. Это способствует созданию жесткого, прочного продукта, все еще поддающегося обработке. Если стержень нагреть до вишнево-красного цвета, а затем погрузить в теплое масло, поверхность становится чрезвычайно трудной в металлообработке и может повредить режущий инструмент. Поэтому буровые штанги или другие изделия из стали, перед закаливанием в масле должны быть доведены до готовности. В зависимости от предполагаемого использования, некоторые штанги должны быть менее хрупкими и более пластичными. Для этого производится отпуск металла. Чтобы произвести отпуск стали, ее нужно снова медленно нагреть после закалки. При нагревании стали до 450°C, твердость металла снижается. После этого допускается охлаждение изделия на воздухе. "Отпущенный" металл можно затачивать или полировать.

Разница закалки стали в воде или в масле заключается в том, что вода – лучший проводник тепла, чем масло. Следовательно, в воде охлаждение происходит быстрее, но неравномерно. Это приводит к деформации, поскольку охлаждение происходит неравномерно, от поверхности в глу-



Рис.6. Буровые штанги
Fig. 6. Drill Rods

риг derrick. The height is directly proportional to the number of strokes of the drilling installation and, thus, the length of drill rod. Nowadays there are two basic drill rod hardening methods: water and oil hardening methods:

Water hardening – drill rod develops higher compression strength and at the same time it becomes more brittle. It is easier to process the item in contrast to oil hardening method. Drill rod or another item can hardly be welded when this hardening method is used.

Oil hardening is slower than water hardening; metal strength is higher. It is more difficult to process and weld oil-hardened drill rod.

When water hardening is used, a steel product is heated until it glows a cherry-red colour and then submersed into a container filled with water and left until cooled. This will makes it possible to get a tough, high-strength product, still treatable. Heating until the rod glows a cherry-red color with subsequent submersion in warm oil makes surface metalworking extremely difficult and may damage the cutting tool. Therefore, prior to oil hardening drill rods or other steel products have to be brought to readiness. Depending on the intended use some rods have to be less brittle and more ductile. For this purpose metal is tempered. Tempering is reached by slow heating after hardening. When steel is heated up to 450 degrees Celsius, metal hardness is getting lower. Thereafter, the product is left to be cooled in the air. Tempered metal can be grinded or polished.

The difference in water or oil steel hardening lies in the fact that water is better heat conductor than oil. Consequently, water cooling is faster, but uneven. It results in deformation due to uneven, from the surface to the depth, cooling. The said is essential to be considered when precision products are manufactured.

бину. Это важно учитывать при изготовлении точных изделий.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ГАЗОПОРШКОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Преимущества лазерной наплавки перед традиционными технологиями

Лазерная наплавка обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева создает возможность вести процесс на повышенных скоростях обработки. Это, в свою очередь, обуславливает:

- Возможность формирования наплавленного слоя с малым коэффициентом перемешивания (0,05–0,15) за счет незначительного подплавления основы.
- Минимальное термическое воздействие на основной металл, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения.
- Незначительные остаточные деформации наплавленных деталей.

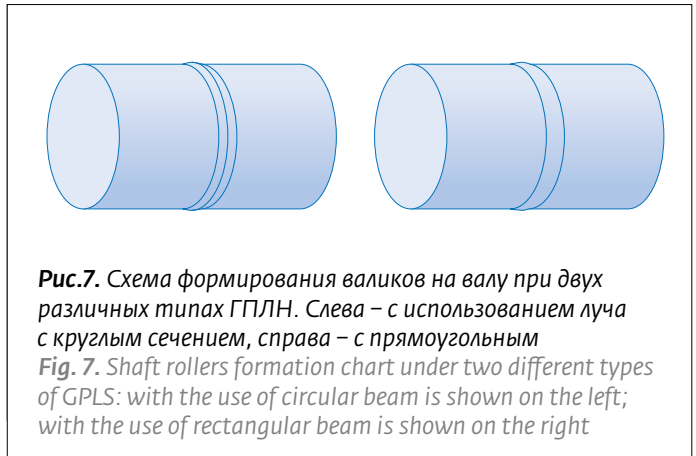


Рис.7. Схема формирования валиков на валу при двух различных типах ГПЛН. Слева – с использованием луча с круглым сечением, справа – с прямоугольным
Fig. 7. Shaft rollers formation chart under two different types of GPLS: with the use of circular beam is shown on the left; with the use of rectangular beam is shown on the right

DRILLING EQUIPMENT RECONDITIONING BY LASER GAS POWDER SURFACING

Advantages of laser surfacing over traditional technologies

There are a number of advantages of laser surfacing over traditional surfacing methods. High energy concentration in the hot spot makes it possible to conduct the process at higher processing speeds. This, in turn, determines the following:

- Feasibility to form a pad with low mixing coefficient (0,05–0,15) due to slight base fusion.

- Возможность наплавки малых поверхностей, соизмеримых с диаметром пятна нагрева в случае применения импульсных и импульсно - периодических лазеров.
- Повышенные свойства наплавленных слоев.

Таким образом, малые деформации, с одной стороны, и высокие эксплуатационные свойства, с другой, создают предпосылки для применения этого способа не только в процессе получения специальных свойств поверхности изделий, но и при изготовлении деталей машин.

Преимущества применения широкополосной газопорошковой лазерной наплавки (широкополосной ГПЛН) при обработке бурового оборудования

Широкополосная ГПЛН является более производительной технологией по сравнению с традиционной ГПЛН, при которой используется луч круглого сечения. В последнем случае спеченный порошок описывает на поверхности обрабатываемой детали узкую спиралеобразную кривую, тогда как при широкополосной ГПЛН прямоугольным лучом эта кривая имеет в 2-3 раза большую ширину. Покрытие всей поверхности происходит за значительно меньшее число проходов при приблизительно одинаковых затратах порошка (рис.7). Таким образом, имеет место экономия времени и дорогостоящей энергии лазерного источника.

Еще одним важным преимуществом широкополосной наплавки перед традиционной лазерной наплавкой является возможность уменьшить объем пустот между валиками, что позволяет получить более сплошную структуру наплавленного слоя и сократить размеры области перекрытия [6], достигая существенной экономии порошкового материала (рис.8).

Технология ГПЛН лучом прямоугольного сечения имеет хорошие перспективы для применения как в серийном, так и в массовом производстве. Высокая производительность процесса позволяет заменить плазменную и электродугую наплавку лазерной с обеспечением более высокого качества наплавленного слоя и меньшими тепловыми воздействиями на деталь. Данная технология идеально подходит для обработки крупногабаритных деталей, что связано опять же с высокой производительностью процесса. Более того, можно утверждать, что ГПЛН лучом прямоугольного сечения развивается именно с целью обработки крупногабаритных деталей, таких

- Minimal heat effect on base metal is especially important for the materials undergoing structural and phase transformations.
- Minor residual deformations of surfaced parts.
- Feasibility to surface small surfaces proportionate to the hot spot diameter when pulsed and repetitively-pulsed lasers are used.
- Higher performance characteristics of pads.

Thus, small deformations, on the one hand, and high performance characteristics, on the other hand, predetermine the use of this method not only while getting special performance characteristics of the product surface, but also while manufacturing machine parts.

Advantages of the use of broadband gas powder laser surfacing (broadband GPLS) when processing drilling equipment

Broadband GPLS is a more efficient technology than a traditional GPLS technology in which a circular beam spot is used since in the latter case sintered powder traces a narrow spiral-shaped curve on the work piece surface while in case of the broadband GPLS a rectangular beam is used and such a curve is 2-3 times as wide and the whole surface is covered in a much fewer passes at approximately the same cost of powder (Fig. 7). Thus, time and expensive laser source energy are saved.

Another important advantage of broadband surfacing over the traditional laser surfacing is the feasibility to reduce the volume of voids between rollers which makes it possible to obtain a more void-

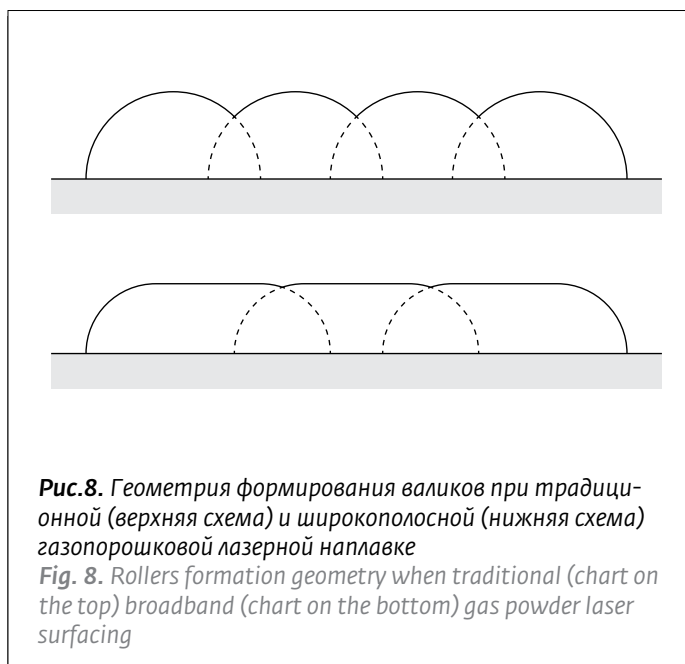


Рис.8. Геометрия формирования валиков при традиционной (верхняя схема) и широкополосной (нижняя схема) газопорошковой лазерной наплавке

Fig. 8. Rollers formation geometry when traditional (chart on the top) broadband (chart on the bottom) gas powder laser surfacing



как валы автомобиле- и судостроения и буровое оборудование.

Наплавляемые сплавы

Для лазерной наплавки используют те же наплавочные материалы, что и для традиционных методов. Это компактные присадки, выполненные в виде проволоки, или ленты и порошки.

Порошковые материалы по сравнению с компактными имеют ряд преимуществ:

- Увеличенное поглощение лазерного излучения вследствие разветвленной поверхности и многократного отражения луча от отдельных частиц.
- Меньшая (более чем в 1,5 раза) энергия, необходимая для оплавления порошкового материала.
- Широкие возможности регулирования химического состава наплавляемого слоя.
- Возможность доставки металла в труднодоступные места.
- Простота подачи, что важно при изготовлении деталей сложной конфигурации.

Можно привести следующие примеры материалов, находящих своё применение при ГПЛН бурового оборудования:

free pad structure, reduce dimensions of the overlap area [6] and substantially save powder material (Fig. 8):

The use of GPLS technology in which a rectangular beam is used is promising in both batch and mass production. High process efficiency makes it possible to replace plasma and arc surfacing with a laser one where pad quality is higher and there is less heat effect on the part. This technology is ideal for processing large parts due to high process performance. Moreover, it is fair to say that the GPLS with a rectangular beam has been developing namely in order to process large parts, such as shafts in motor vehicle and shipbuilding industry and drilling equipment.

Surfaced alloys

Surfacing materials used for laser and traditional surfacing are the same. They include compact additives made in the form of wire or tape and powders.

- There are a number of advantages of powder materials over compact materials:
- Enhanced absorption of laser emission due to branched surface and multiple beam reflection from individual particles.



- Сплав INCONEL 625 UNS N06625 – сплав никель-хром с добавлением ниобия, который в сочетании с молибденом обеспечивает повышенную прочность без дополнительной термической обработки. Диапазон рабочих температур сплава Инконель 625 – от криогенных до 980 °С. Сплав устойчив к широкому спектру жестких коррозионных сред и особенно устойчив к точечной и щелевой коррозии. Он противостоит газовой коррозии от воздействия высоких температур и отличается высокой технологичностью, в том числе свариваемостью. Отечественным аналогом INCONEL alloy 625 можно рассматривать сплав ХН75МБТЮ ГОСТ 5632. Сплав применяется в химической, нефтехимической и авиационной промышленности, судостроении, в атомных реакторах. В соответствии с ANSI/NACE MR0175 сплав относится к типу 4d для отожженных и холоднодеформированных сплавов на основе никеля со структурой твердого раствора, используемых для любого оборудования и компонентов.
 - Сплав ХН65МВ применяется для изготовления сварной химической аппаратуры, эксплуатирующейся в наиболее жестких условиях (среды окислительно-восстановительного характера) химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности при температуре стенки от -70 до 500°С и давлении среды не более 5,0 Н/мм². Сплав выплавляется в открытых индукционных печах.
 - Карбид вольфрама активно применяется в технике для изготовления инструментов, требующих высокой твердости и коррозионной стойкости, а также для износостойкой наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками. Этот материал находит применение в изготовлении различных резцов, абразивных дисков, сверл, фрез, долот для бурения и другого режущего инструмента. Марка твердого сплава, известная как "Победит", на 90% состоит из карбида вольфрама. Активно применяется в газотермическом напылении и наплавке в виде порошкового материала для создания износостойких покрытий. Так рэлит, представляющий собой эвтектику WC-W₂C, используется для наплавки на буровой инструмент и на другие изделия, подвергаемые абразивному износу. Это один из основных материалов, использующихся для замены гальванического хромирования методом высокоскоростного газопламенного напыления.
 - Less (more than 1.5 times) energy needed melt powder material.
 - Broad options to control chemical composition of the pad.
 - Ability to deliver metal to hard-to-reach places.
 - Ease of supply that is important while manufacturing irregular shaped parts.
- The following examples of materials used in GPLS of drilling equipment can be given:
- INCONEL 625 UNS N06625 alloy - nickel-chromium alloy with addition of niobium which in combination with molybdenum ensures increased strength without additional heat treatment. Operating temperatures of Inconel 625 alloy range from cryogenic temperatures to 980 °C. The alloy is resistant to a wide range of severe corrosive environment and especially resistant to pitch and crevice corrosion. It is resistant to gas corrosion resulted from the exposure to high temperatures. It is notable for high workability, in particular, weldability. ХН75МБТЮ alloy GOST 5632 can be considered as a domestic analogue of INCONEL alloy 625. It is used in chemical, petrochemical, aircraft and shipbuilding industries, nuclear reactors. According to ANSI/NACE MR0175 the material type for this alloy is 4d for annealed and cold-worked solid-solution nickel-based alloys used for any equipment and components.
 - ХН65МВ alloy is used for manufacturing of welded chemical equipment used under the most severe conditions (reductive-oxidative environment) of chemical, petrochemical, pulp and paper and other industries at a wall temperature ranging from -70 to 500 ° and environment pressure amounting up to 5,0 N/ mm². The alloy is smelted in open induction furnaces.
 - tungsten carbide is widely used in engineering for manufacturing of high-hardness and corrosion resistant tools, as well as for wear-resistant surfacing of parts used under conditions of intense abrasive wear and moderate impact loads. This material is used for manufacturing of various boring tools, abrasive discs, auger bits, mills, bore bits and other cutting tools. The hard alloy grade known as Pobedit is of 90% tungsten carbide. It is widely used in thermal spraying and surfacing in the form of a powder material aimed to make wear-resistant coatings. For example, cast tungsten carbide, being a WC-W₂C eutecticum, is used to surface drilling tools and other items exposed to abrasive wear. It is one of the basic materials used to replace galvanic chrome plating by High Velocity Oxygen Fuel coating method.

Продолжение следует

To be continued