



## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОПОРШКОВОЙ НАПЛАВКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТА АРКТИКА. ЧАСТЬ II

В.Я.Панченко<sup>1</sup>, В.В.Васильцов<sup>1</sup>, v.vasiltsov@mail.ru,  
И.Н.Ильичев<sup>1</sup>, А.В.Богданов<sup>2</sup>, А.Г.Григорьянц<sup>2</sup>,  
К.И.Макаренко<sup>2</sup>, М.В.Таксанц<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук;

<sup>2</sup>Московский государственный университет  
им. Н.Э.Баумана

В настоящее время в РФ происходит активное освоение новых месторождений полезных ископаемых в Арктической зоне. Особенности климата накладывают высокие требования к надежности бурового оборудования. В статье представлена информация о лазерных методах, которые применяются для восстановления, ремонта и повышения эксплуатационных характеристик бурового оборудования.

### Получение композиционных материалов с карбидами вольфрама технологиями лазерной наплавки

Лазерная наплавка обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами. Высокая концентрация энергии в пятне нагрева создает возможность вести процесс на повышенных скоростях обработки [1-7].

Поскольку карбиды вольфрама являются одними из важнейших материалов, используемых при получении износостойких покрытий для бурового оборудования, приведем ниже результаты исследований, проведенных авторами статьи [8]. Является очевидным, что развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, а повышение износостойкости деталей является актуальной задачей для многих отраслей промышленности, в том числе нефте- и газодобывающей. Перспективным вариантом решения этой задачи является нанесение на детали, под-

## LASER TECHNOLOGIES OF GAS POWDER SURFACING AND HEAT TREATMENT OF DRILLING EQUIPMENT FOR ARCTICA PROJECT TASKS. PART II

V.Ya.Panchenko<sup>1</sup>, V.V.Vasiltsov<sup>1</sup>, v.vasiltsov@mail.ru,  
I.N.Ilichev<sup>1</sup>, A.V.Bogdanov<sup>2</sup>, A.G.Grigoryants<sup>2</sup>,  
K.I.Makarenko<sup>2</sup>, M.V.Taksants<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute on Laser and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Bauman Moscow State University

Currently, the Russian Federation is actively developing new mineral deposits in the Arctic zone. The climate features impose high demands on the reliability of drilling equipment. The article presents information concerning laser methods used for restore, repair and enhance the performance of drilling equipment.

### Manufacturing of tungsten carbide composite materials by laser surfacing technology

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 [1-7].

Since tungsten carbides are one of the most important materials used for manufacturing of wear-resistant coatings for drilling equipment, the results of the research carried out by the author of the article will be shown below [8]. It is obvious that development of state-of-the-art technology puts forward increasingly stringent requirements for materials, and the increase in parts wear resistance is an urgent task for many industries, in particular, oil and gas industry. A promising alternate solution to this problem is composite coatings on heavily worn-out parts.

Composite material (CM) is a non-uniform void-free material made of two or more components, among which there are hardening or reinforcing elements serving to provide the material with required mechanical characteristics, and a matrix serving to ensure joint action of reinforcing elements. The properties of these materials mainly depend on

верженные интенсивному износу, композиционных покрытий.

Композиционный материал (КМ) – неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить упрочняющие или армирующие элементы, придающие материалу необходимые механические свойства, и матрицу, обеспечивающую совместную работу армирующих элементов. Свойства этих материалов зависят от физико-механических свойств компонентов и прочности связи между ними. Отличительной особенностью материалов является то, что в них проявляются достоинства компонентов, а не их недостатки. Вместе с тем композиционным материалам присущи свойства, которыми не обладают отдельные компоненты, входящие в их состав. Для оптимизации свойств выбирают компоненты с резко отличающимися, но дополняющими друг друга свойствами. Композиционные материалы имеют высокие показатели удельной и усталостной прочности, обладают повышенной износостойкостью, обеспечивают размерную стабильность конструкции. В настоящий момент актуально создание и внедрение инновационных конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами. Среди конструкционных материалов получают широкое распространение карбидостали – композиционные материалы, состоящие из легированной стали и карбидов с массовой долей от 20% до 70%. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между сталями и твердыми сплавами. Использование карбида вольфрама в качестве упрочняющей фазы в стальной матрице позволяет повысить твердость, прочность и износостойкость.

Получение композиционного материала возможно либо расплавлением матрицы и добавле-

physical and mechanical properties of the components and bonding strength between them. A distinctive feature of the materials is that they show benefits of the components, not their drawbacks. At the same time, composite materials possess the properties extrinsic to individual constituent components. In order to optimize properties the components exhibiting starkly different but complementary properties are selected. Composite materials show high specific and fatigue endurance rates and increased wear resistance, they provide dimensional stability of the structure. Nowadays manufacturing and implementation of innovative structural materials exhibiting high physical and mechanical properties is of vital importance. Among structural materials the use of carbide steels, composite materials made of alloy steel and carbides with a mass fraction ranging from 20 to 70%, is getting widespread. By their properties carbide steels are intermediate between steels and hard alloys. The use of tungsten carbide as the hardening phase in the steel matrix makes it possible to increase hardness, strength and wear resistance.

Composite material can be manufactured either by matrix smelting and adding strengthening particles, or by resmelting of all the components followed by isolation of the required structures. In the first case, it is necessary to smelt only the matrix retaining the original structure in the carbide. In the second case, it is necessary to smelt the entire material without significant evaporation, and thereafter, get from the total liquid bath strengthening phases dissociated during crystallization. In case of the use of non-concentrated energy sources, high linear heat output of the process results in significant heating of the back support and its deformation. Concentrated energy sources make it possible to heat the back support and pad by spot heating with a minimum heat input. Concentrated heat sources include electron-beam and laser sources.

**Таблица 1.** Химический состав порошков, использованных для создания покрытия

**Table 1.** Chemical composition of powders used to make coatings

Марка порошка Grade of powder	Содержание элементов, % Percentage of elements, %							
	C	Fe	Co	Ni	Cr	W	Si	B
ПГСП-4	0,75	3,7	–	ОСНОВА base	28,5	4,4	1,0	3,1
ПР-НХ	0,73	4,38	–	ОСНОВА base	15,9	–	3,18	2,65
WC/Co	8	–	12	–	–	80	–	–
WC	12	–	–	–	–	88	–	–



нием упрочняющих частиц, либо переплавкой всех компонентов с последующим выделением требуемых структур. В первом случае необходимо расплавить лишь матрицу, сохранив в карбиде исходную структуру. Во втором случае необходимо расплавить весь материал без значительного испарения, и уже из общей жидкой ванны получить выделившиеся при кристаллизации упрочняющие фазы. Если это осуществляется с помощью неконцентрированных источников энергии, высокие погонные мощности процесса ведут к значительному разогреву подложки и ее деформации. Концентрированные источники позволяют нагреть подложку и наплавляемый материал точно, с минимальным вводом теплоты. К концентрированным источникам теплоты относят электронно-лучевые и лазерные источники.

Лазерная наплавка заключается в послойном локальном расплавлении порошков и их сплавлении с поверхностью обрабатываемого металла, в связи с этим погонные мощности процесса ниже, чем при применении дуговых и плазменных методов, соответственно, тепловое воздействие на подложку минимально. Благодаря локальности воздействия и гибкости регулирования параметров процесса получение композитного покрытия методом лазерной наплавки позволяет наносить большое разнообразие наплавляемых материалов и их комбинаций.

Авторами статьи [8] был проведен процесс лазерной наплавки на роботизированном лазерном комплексе с использованием волоконного лазера (робот АBB IRB2400 + вращатель МТС-250; волоконный лазер ЛС-4К). Лазерное распылительное сопло с многоструйной подачей порошка (голова для наплавки YC-50) обеспечило нанесение валиков шириной около 4 мм и высотой 1-1,2 мм за один проход. Толщина слоя при перекрытии 50% составляла для опытных составов 2-2,5 мм. Таким образом, требуемая толщина слоя достигается за меньшее число термических циклов нагрева окружающего металла до высоких температур, более 800 °С. Подача порошкового материала осуществлялась с помощью дозатора, имеющего 2 колбы.

В качестве присадочного материала использовался металлический порошок, полученный методом газовой атомизации расплава. Гранулометрический состав частиц соответствует требованиям технического задания: все используемые порошки имели размер фракции от 40 до 150 мкм. Химический состав использованных порошков представлен в табл. 1, теплофизические свойства – в табл. 2. Порошки на никелевой основе являются самофлю-

Laser surfacing is carried out by layer-by-layer local melting of powders and their alloying with the surface of metal being processed, as a result, linear heat output of the process is lower than when arc and plasma methods are used, respectively, the heat effect on back support is minimal. Due to the local nature of the heat effect and the flexibility of monitoring the variables of the composite coating process laser surfacing method makes it possible to apply a wide variety of pads and their combinations.

The authors of the article [8] have tested the laser surfacing process on the robotic laser station using a fiber-optics laser (ABB IRB2400 robot + MTC-250 rotary head, ЛС-4К fiber-optics laser). A laser disintegrating nozzle with a multi-jet powder supply (YC-50 head for surfacing) made it possible to apply rollers about 4 mm wide and 1-1.2 mm high in one pass. 50% of the overlap layer amounted to 2-2.5 mm thick for experimental compositions. Thus, fewer thermal cycles of circumjacent metal heating to high temperatures, over 800 °C, are needed to achieve the required layer thickness. The powder material was supplied by a 2-vessel dispenser.

Metal powder derived by melt gas atomization method was used as an additive. Granulometric composition of the particles corresponds to the requirements set in the requirements specification: fraction size of all the powders used ranged from 40 to 150 μm. Chemical composition of the powders used is shown in Table 1 and thermal properties are shown in Table 2. Nickel-based powders are high corrosion resistant and abrasion wear resistant self-fluxing alloys.

Two types of tungsten carbides were used as the strengthening phase: chipped and sintered carbides. Sintered cobalt-bound tungsten carbides are small chipped carbides integrated into spherical particles by a cobalt base. Such carbides get melt into the matrix and form a void-free uniform transition without lattice distortion and microdefects formation.

Experimental samples, 50×30×20 mm in size, were surfaced. Various modes and percentage of tungsten carbides were used. In order to prevent cracks preforms were heated up to 450 °C.

Type ПГСП-4 nickel alloy. Surfacing of experimental samples, 50×30×20 mm in size, resulted in no cracks and pores, carbides remained non-dissolved (Fig. 9). The photo on the top shows the macrostructure of the alloying area with the back support. Alloyage is smooth; carbides are distributed evenly across and along the whole coating. The alloy was surfaced in one pass; the coating thickness amounted to 2.2 mm. Dependent on different values of tungsten carbide content the coating hardness ranged from 61 to 67 HRC (Table 3). As



сующимися сплавами с высокой коррозионной стойкостью и стойкостью к абразивному износу.

В качестве упрочняющей фазы использовались два вида карбидов вольфрама: колотые и агломерированные карбиды. Агломерированные карбиды вольфрама в кобальтовой обвязке представляют собой мелкие колотые карбиды, объединенные в сферические частицы с помощью кобальтовой основы. Такие карбиды вплавляются в матрицу и образуют сплошной равномерный переход без искажений решетки и образования микродефектов.

Наплавка проводилась на экспериментальные образцы размером 50×30×20 мм. В эксперименте варьировались режимы и процентное содержание карбидов вольфрама. Для исключения трещин использовался предварительный подогрев заготовок до температуры 450 °С.

1. Никелевый сплав типа ПГСР-4. При наплавке на экспериментальные образцы размером

**Таблица 2.** Теплофизические свойства использованных порошков  
**Table 2.** Thermal properties of powders used

Марка порошка Grade of powder	Теплофизические свойства Thermal properties		
	Температура плавления, °С Melting temperature, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup> Density, g/cm <sup>3</sup>	Твердость, HRC Hardness, HRC
ПГСР-4	1100	8	60–62
ПР-НХ	1100	–	47–50
WC/Co	1350–1400	11	–

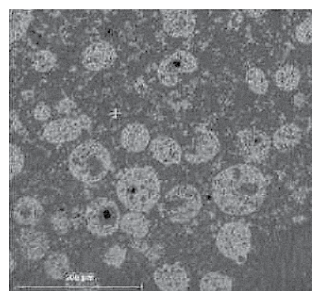
the content of the carbide phase in the pad increases, hardness and brittleness increase, so the optimal content of WC / Co (40% by volume) was detected in sample No. 1 due to the most even distribution of carbides across and along the coating.

The results of preliminary samples researches have made to come to a decision to surface this alloy on experimental parts. However, mechanical processing of the alloy with such high hardness has led to its destruction.

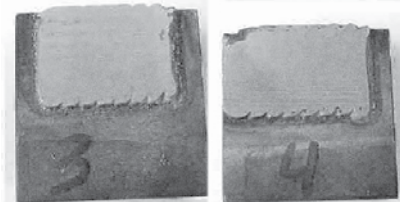
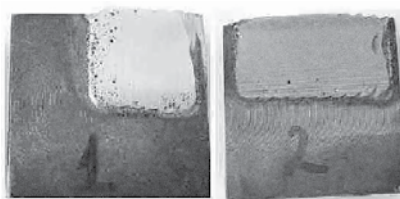




**Рис.9.** Зона сплавления основного металла и наплавленного слоя (верхний снимок), нерастворенные карбиды и микропоры внутри частиц порошка (нижний снимок)



**Fig. 9.** Base metal and pad alloying area (photo on the top), non-dissolved carbides and micropores inside powder particles (chart on the bottom)



**Рис.10.** Образцы наплавки №№1-4 после обработки шлифованием  
**Fig. 10.** Surfacing samples No. 1-4 after grinding

50×30×20 мм трещин и пор выявлено не было, карбиды остались нерастворенными (рис.9). На верхнем снимке представлена макроструктура зоны сплавления с подложкой. Сплавление ровное, карбиды распределены равномерно по всей толщине и протяженности покрытия. Наплавка производилась в один проход, толщина покрытия составила 2,2 мм. Твердость покрытия составила при различных значениях содержания карбида вольфрама от 61 до 67 HRC (табл. 3). С увеличением содержания карбидной фазы в наплавленном слое происходит повышение твердости и хрупкости, поэтому оптимальное содержание WC/Co (40% по объему) выявлено в образце № 1, так как этот образец отличается наиболее равномерным распределением карбидов по толщине и протяженности покрытия.

В результате предварительных исследований образцов принято решение наплавлять данный сплав на опытные детали. Однако механическая обработка сплава с такой высокой твердостью привела к его разрушению.

2. Никелевый самофлюсующийся сплав типа ПР-НХ16СР3. Используемый никелевый сплав с меньшей, чем в первом случае, твердостью (не более 50 HRC), является самофлюсующимся. При анализе результатов предварительных исследований было принято решение наплавлять данный сплав на опытные детали с добавлением колотых карбидов вольфрама. На образцы было нанесено 4 варианта состава на различных режимах (табл. 4).

Type PR-HX16CP3 nickel self-fluxing alloy. In comparison with the first case the nickel alloy used is self-fluxing with lower hardness (up to 50 HRC). While analyzing the preliminary research it was decided to surface this alloy with additives of chipped tungsten carbides on the experimental parts. 4 alternate alloy compositions in various modes were applied on the samples (Table 4).

The process of material coating was stable; layering was even in the broad window of modes. Ground coatings are shown on Fig. 10.

The researches have shown the following result. Samples No.1 and 3 showed high wear resistance in comparison with the required value. Samples applied in modes No. 2 and No. 4 happened to be relatively less wear resistant. Coating No. 1 has been recognized to be the most suitable; however, a defect - porosity - has been detected in it. This defect had to be eliminated by taking manufacturing process measures:

- Thorough preform surface preparation: degreasing, decontamination and preheating.
- Powder blend preparation: sieving, dehumidifying.
- Increase of the process linear heat output aimed to replenish heat dispersion in a massive part.

**Таблица 3.** Значения твердости на образцах лазерной порошковой наплавки

**Table 3.** Hardness values on laser powder surfacing samples

	ПГСП-4	WC/Co	№ образца	HRC
Доля материала, % по объему	60	40	1	65-66
Material percentage, % by volume	50	50	2	61-66,5
	40	60	3	64-67,5



Процесс нанесения материала являлся стабильным, в широком окне режимов формирование слоев равномерное. Покрытия, обработанные шлифованием, показаны на рис.10.

Исследования дали следующий результат. Образцы с номерами 1 и 3 показали высокую износостойкость, сравнимую с требуемым значением. Образцы, нанесенные на режимах № 2 и № 4, – сравнительно меньшую износостойкость. Наиболее подходящим признано покрытие с № 1, однако в нем присутствуют дефекты – пористость. Данный дефект было необходимо устранять технологическими мерами:

- Тщательная подготовка поверхности заготовки: обезжиривание, очистка, предварительный подогрев.
- Подготовка порошковой смеси: просев, просушка.
- Повышение погонной мощности процесса для компенсации рассеяния тепла в массивной детали.

В рамках исследований также была осуществлена технологическая операция наплавки на образцы с рабочими размерами. Наплавка производилась на очистные ножи для повышения износостойкости. Процесс наплавки на детали

**Таблица 4.** Исследованные режимы нанесения композиционных покрытий на основе никелевого сплава ПР-НХ

**Table 4.** Researched modes of application of composite ПР-НХ nickel alloy based coatings

№ образца Sample No.	ПР-НХ, % по объему ПР-НХ,% by volume	WC/Co, % по объему WC/Co,% by volume	Мощность лазерного излучения, Вт Laser emission power, W
1	55	45	2000
2	60	40	2000
3	50	50	1800
4	50	50	2400

Within the scope of the research work-size samples have also been tested for the process surfacing operation. In order to improve wear resistance of cleansing knives they have been surfaced. Heating pattern of real-size parts and small preforms differed from each other during surfacing. That is why



**Рис.11. Комплекс упрочнения**  
**Fig. 11. Strengthening facilities**



**Рис.12. Образцы подшипников скольжения бурового оборудования**  
**Fig. 12. Samples of drilling equipment sliding bearings**

с реальным размером отличался по картине распределения температур от процесса наплавки на небольшие заготовки. По этой причине режимы, полученные на предварительном этапе, пришлось корректировать для наплавки на больших деталях. Наплавлялся состав на основе никелевого самораспространяющегося сплава типа ПР-НХ16СРЗ с добавлением колотых карбидов вольфрама. В результате серий экспериментов на сплаве ПР-НХ16СРЗ с добавлением карбидов вольфрама в кобальтовой обвязке было установлено, что стабильность процесса нанесения не была получена, карбиды были расположены равномерно, однако износостойкости таких покрытий одновременно с высокой трещиностойкостью достигнуть не удалось. Поэтому было принято решение использовать в качестве упрочняющих частиц колотый карбид вольфрама. Размер фракций составлял 50-150 мкм, частицы имели неправильную форму и более крепко держались в вязкой матрице.

Порошковая смесь из ПР-НХ16СРЗ и колотых карбидов вольфрама была наплавлена на участок ножа в рабочем размере на режиме, указанном в табл. 5.

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**  
**Работы ИПЛИТ РАН по восстановлению бурового оборудования**

Комплекс упрочнения бурового оборудования (рис.11) был поставлен в г. Оха Сахалинской области в 1997 году. Кроме того, комплекс упрочнения

surfacing modes derived at the preliminary stage had to be adjusted for large parts. The surfaced composition was a type ПР-НХ16СРЗ nickel self-fluxing alloy with chipped tungsten carbide additives. A number of experiments on ПР-НХ16СРЗ type alloy with tungsten carbide additives and cobalt

**Таблица 5. Режим наплавки порошковой смеси из ПР-НХ16СРЗ и колотых карбидов вольфрама**  
**Table 5. Surfacing mode of powder blend made of ПР-НХ16СРЗ and chipped tungsten carbides**

Параметр Parameter	Значение Value
Мощность, % Power, %	36-38
Скорость перемещения, мм/с Travel speed, mm/s	5
Шаг между валиками, мм Roller pitch, mm	2,5
Расход порошка ПР-НХ16СРЗ, % по объему ПР-НХ16СРЗ powder consumption, % by volume	60
Расход порошка WC, % по объему WC powder consumption, % by volume	40
Подложка Back support	Сталь 20 Steel 20
Подогрев*, градусов С Preheating*, degrees C	550

\* Подогрев в сборе с оснасткой; толщина слоя по выступам валиков 2,2-2,4 мм

\* Preheating completed with furnishings; layer thickness along rollers projections is 2.2-2.4 mm



поставлялся на ряд других предприятий России и в Болгарию. Подшипники бурового оборудования, упрочненные с помощью лазера МТЛ-2 мощностью 2 кВт, представлены на рис.12.

### **Экспериментальный лазерный комплекс ИПЛИТ РАН для селективного лазерного сплавления (СЛС)**

Экспериментальный лазерный комплекс, реализующий СЛС-технологию, подробно описан в работе [7]. Комплекс создан на базе волноводного многоканального CO<sub>2</sub>-лазера, генерирующего в одномодовом режиме излучение с мощностью до 1,5 кВт, и излучение с мощностью 3–6 кВт при формировании луча с распределением плотности излучения в виде супергаусс (полочка). Технологический лазер "Гибрид-1" имеет одномодовое распределение мощности в поперечном сечении и позволяет сфокусировать излучение в пятно диаметром менее 100 мкм. Это обеспечивает при соответствующем программном и аппаратном обеспечении возможность выращивать детали с высоким пространственным разрешением. Лазер "Гибрид-2", отличающийся от предыдущего варианта только заменой резонаторных зеркал, обеспечивает уникальное однородное распределение плотности

as a binding medium resulted in failure to achieve stability of the application process, even distribution of carbides; however, wear resistance and high crack resistance of such coatings failed to have been achieved simultaneously. Therefore, it was decided to use chipped tungsten carbide as strengthening particles. The fractions were 50–150 μm in size, the particles were irregular in shape and held more hard in a ductile matrix.

Powder blend composed of ПП-НХ16СР3 and chipped tungsten carbides was surfaced on the portion of a work-size knife in the mode specified in Table 5.

### **DOMESTIC INSTALLATIONS FOR THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES DURING RECONDITIONING OF DRILLING EQUIPMENT**

#### **Activities of ILIT RAS (the Institute on Laser and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences)**

Fig. 11 shows drilling equipment strengthening facilities supplied in Okha, Sakhalin region, in 1997. Moreover, the strengthening facilities were supplied to Bulgaria, a number of Russian enterprises. As an example, Fig. 12 shows drilling equipment bearings reinforced by 2 kW МТЛ-2 laser.





**Рис.13.** Технологический лазер "Гибрид" (два вида излучателей – слева многоканальный, справа однолучевой одномодовый)

**Fig. 13.** Hybrid technological laser (two types of emitters – multiport one is on the left; single-beam, single-mode is on the right)



**Рис.14.** Технологический пятикоординатный манипулятор без защитной кабины

**Fig. 14.** Five-axis manufacturing manipulator without safety box

мощности на обрабатываемом поле диаметром от 0,5 до 10 мм.

### Лазерные комплексы для аддитивных технологий российских университетов

Лазерный комплекс, реализующий аддитивные технологии, создан в МГТУ им.Н.Э.Баумана. В нем используется волоконный лазер мощностью 0,1–5 кВт, диаметр формируемого пятна 0,2–5 мм, толщина выращиваемого слоя 0,2–2 мм. Третья отечественная установка селективного лазерного плавления ПТК-ПС создана в Станкине. Мощность используемого волоконного лазера 0,5кВт.

Таким образом, созданы все технологические предпосылки, позволяющие оперативно приступить к разработке и усовершенствованию технологий восстановления, ремонта и повышения эксплуатационных характеристик бурового оборудования, используемого для добычи данных полезных ископаемых, в частности в Арктической зоне.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Маркин Е.П., Лозовой А.К., Смирнов С.Н., Яхонтов Ю.Г. Опыт промышленного применения лазерных технологических комплексов на базе волоконных генераторов. – Известия вузов. Приборостроение, 2011, т. 54, № 2.
2. Васильцов В.В., Галушкин М.Г., Ильичев И.Н., Мисюров А.И., Панченко В.Я. Послойная лазерная наплавка металлических порошков: аналитическая теория и эксперимент. – Инженерный журнал: наука и инновации, 2012, № 6, с. 5.
3. Панченко В.Я., Александров В.О., Васильцов В.В., Григорьев А.В., Егоров Э.Н., Карцев В.Е., Ильичев И.Н., Лебедев Ф.В., Мисюров А.И.,

### Experimental laser station of ILIT RAS for SLS-technology

Detailed description of the experimental laser station SLS is shown in [7]. It is based on a waveguide multi-channel CO<sub>2</sub> laser with emission power amounting up to 1.5 kW, single-mode operation and 3–6 kW power with a super-Gaussian (shelf) distribution. Operation of Hybrid-1 technological laser is a single-mode which makes it possible to focus emission into a spot, less than 100 μm in diameter. Availability of appropriate software and hardware makes it possible to grow parts with high space resolution. Hybrid-2 laser differing from the previous version only by the cavity mirrors provides a unique uniform distribution of power density in the processed field, from 0.5 to 10 mm in diameter.

### Laser complexes for additive technologies of Russian universities

The most sophisticated domestic installation has been manufactured in Bauman MSTU. Fiber-optics



**Рис.15.** Комплекс аддитивных технологий. МГТУ им.Н.Э.Баумана  
**Fig. 15.** Additive technology facilities. Bauman MSTU

- Низьев В.Г., Павлов М.Н., Смирнова Н.А., Соловьев А.В.** Технологическая установка для процесса СЛС на базе мощного  $\text{CO}_2$ -лазера. – Физика и химия обработки материалов, 2011, № 6, с. 5–9.
4. **Васильцов В.В., Егоров Э.Н., Ильичев И.Н., Соловьев А.В., Богданов А.В., Мисюров А.И., Смирнова Н.А.** Аддитивные лазерные технологии спекания металлических порошков для получения изделий авиационной и космической промышленности. – Научные технологии в машиностроении, 2016, № 9, с. 24–29. DOI: 10.12737/21236.
  5. **Панченко В.Я., Васильцов В.В., Галушкин М.Г., Ильичев И.Н., Мисюров А.И.** Основные теплофизические процессы технологии послойной лазерной наплавки металлических порошков. – Физика и химия обработки материалов, 2013, № 2, с. 5–10.
  6. **Панченко В.Я., Васильцов В.В., Низьев В.Г., Лебедев Ф.В., Хоменко М.Д.** Разработка оборудования и технологии, включая численное моделирование, лазерного спекания металлических микропорошков и нанопорошков в ИПЛИТ РАН. – Перспективные материалы, Спец. выпуск (14), февраль 2013, с. 233–240.
  7. **Панченко В.Я., Васильцов В.В., Егоров Э.Н., Ильичев И.Н., Соловьев А.В., Богданов А.В., Мисюров А.И., Смирнова Н.А.** Аддитивные технологии спекания металлических порошков для получения изделий авиационной и машиностроительной промышленности. – Фотоника, 2016, № 6, с. 36–46.
  8. **Григорьянц А.Г., Ставетрий А.Я., Третьяков Р.С.** Пятикоординатный комплекс для выращивания деталей методом коаксиального лазерного плавления порошковых материалов. – Станкостроение и инструментальное производство, технология машиностроения, 2015, № 10, с. 22–28.



**Рис.16.**  
Установка  
селективного  
лазерного спекания Станкина  
**Fig. 16.**  
Stankin selective  
laser sintering  
plant

laser power is 0.1–5 kW, spot diameter is 0.2–5 mm, grown layer thickness is 0.2–2 mm. The third domestic selective laser melting plant ПТК-ПС has been manufactured in Stankin. The power of the fiber laser used is 0.5 kW.

Thus, all technological prerequisites which make it possible 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, have been set up originated.