



# ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВ КОБАЛЬТОВЫХ И НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ВЫПУСКНЫХ КЛАПАНОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены свойства сплавов на основе кобальта и никеля для плазменной наплавки выпускных клапанов бензиновых и дизельных двигателей легковых и грузовых автомобилей, а также двигателей тепловозов и судов. Даны рекомендации по применению порошков различных составов при наплавке клапанов.

*Ключевые слова:* плазменно-порошковая наплавка, порошки кобальтовых сплавов, порошки никелевых сплавов, клапаны двигателей внутреннего сгорания

При эксплуатации выпускные клапаны двигателей внутреннего сгорания (ДВС) подвергаются циклическому воздействию высоких температур, силовых нагрузок, а также коррозии. Рабочая температура головки клапана ДВС легкового автомобиля достигает 700, а грузового — 800 °С. Многократный нагрев и охлаждение, неравномерное распределение температуры по сечению клапана и циклическая силовая нагрузка вызывают повреждение контактной поверхности фаски клапана. Наиболее эффективным способом предупреждения прогара и изнашивания является наплавка фаски сплавами с высокой жаростойкостью, термической стойкостью, горячей твердостью и коррозионной стойкостью.

В зависимости от условий работы клапанов ДВС для наплавки контактных поверхностей фасок используют сплавы на основе кобальта или никеля. Среди кобальтхромвольфрамовых сплавов (стеллитов) для наплавки клапанов наиболее широко применяют стеллит № 6 и 12, а также стеллит F и ВЗК (табл. 1).

Все эти сплавы отличаются высокой износостойкостью при нормальной и повышенных температурах, термической стойкостью и жаростойкостью, а также высокой стойкостью против коррозии во многих агрессивных средах. По коррозионной стойкости, обычно оцениваемой в двигателестроении по потере массы в расплавленном оксиде свинца PbO при температуре 910 °С, стеллиты примерно в 10 раз превышают стойкость стали, применяемой для клапанов ДВС.

Характерным свойством стеллитов является способность сохранять достаточную твердость

**Таблица 1.** Химический состав (мас. %) и твердость сплавов, применяемых для наплавки выпускных клапанов ДВС [1–4]

Марка сплава	C	Mn	Si	Cr	W	Ni	Fe	B	Co	Прочие	Твердость HRC
110K65X28B4 (стеллит № 6)	1,1	0,5	1,1	28	4,5	≤ 3	≤ 3	—	Основа	—	44
140K60X30B8 (стеллит № 12)	1,4	≤ 1	≤ 2	30	8	≤ 3	≤ 3	—	»	—	50
110KX30BC (ВЗК)	1,1	—	2	30	4,5	≤ 3	≤ 3	—	»	—	42
180KX25H20B12 (стеллит F)	1,8	0,3	1,1	26	12	20	≤ 2	—	»	0,5Mo	43
90KX30H6BCP (ПН-АН34)	0,8	—	1,7	30	4,5	6	≤ 3	0,8	»	—	45
ЭП-616А	0,9	0,4	2,5	26	—	Основа	≤ 3	1,5	—	0,2Ti, 0,8Al, 0,25Cu	40
150H40X25B6	1,5	—	0,6	26	6	»	25	—	—	—	35
50HX25C5P	0,5	—	5	25	—	»	8	0,9	—	—	46

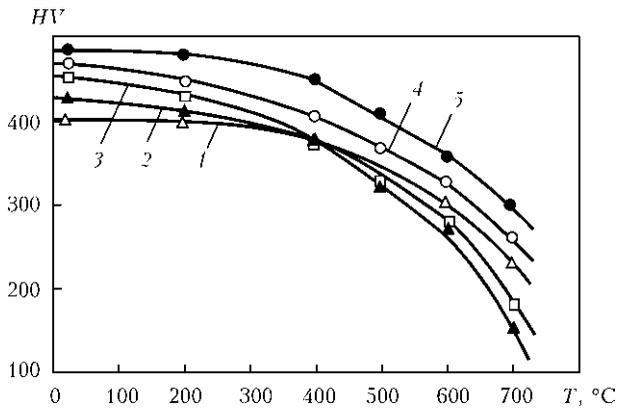


Рис. 1. Горячая твердость сплавов для наплавки клапанов ДВС: 1 — 150N40X25B6; 2 — ЭП-616А; 3 — стеллит F; 4 — стеллит № 6; 5 — 50НХ25С5Р

при высоких температурах. Как видно из рис. 1, начиная с температуры 500 °С наиболее интенсивно падает твердость сплава стеллита F. Твердость стеллитов, являющаяся интегральной характеристикой, определяется свойствами твердого раствора и карбидной эвтектики, а также соотношением этих основных составляющих. Для сплава стеллита F существенное падение твердости при температуре 700 °С связано с разупрочнением твердого раствора, обогащенного никелем.

Сплав стеллита F, характеризующийся пониженным содержанием кобальта и повышенной долей вольфрама, особенно никеля, в основном применяют для наплавки клапанов бензиновых двигателей. Для дизельных двигателей клапаны наплавляют сплавами стеллита № 6, ВЗК (отечественный аналог стеллиту № 6) и реже стеллитом № 12 с более высоким содержанием вольфрама. Однако высокая стоимость кобальта и снижение его производства вызывает необходимость его замены другими материалами.

В качестве замены кобальтовых сплавов все большее распространение получают сплавы на основе никеля. В мировой практике при изготовлении клапанов находят применение сплавы системы Ni-Cr-Si-B, а также сплавы типа нимоник и инконель. Важной особенностью последнего является то, что его свойства мало изменяются при содержании до 20 % железа и уже первый наплавленный слой обладает высокой коррозионной стойкостью.

В странах СНГ [1–3] до недавнего времени использовали две марки сплавов на основе никеля — 150N40X25B6 и ЭП-616А (см. табл. 1), хорошие эксплуатационные характеристики которых подтверждены многолетним опытом эксплуатации наплавленных клапанов. Сплав 150N40X25B6 преимущественно служит для наплавки клапанов двигателей тяжелых грузовых автомобилей, уплотнительные фаски которых работают при температуре 800 °С. Сплав пластичен, легко обрабатывается механически. Структура

сплава аустенитная с карбидным упрочнением. Карбиды хрома и вольфрама обеспечивают отличное сопротивление механическому износу.

Наплавленный металл этого типа обладает высокой горячей твердостью: при температурах выше 700 °С его твердость примерно такая же, как и у стеллита № 6 (рис. 1). Достаточно важным преимуществом сплава 150N40X25B6 по сравнению со стеллитами является меньшая чувствительность к наличию в его составе железа, которое существенно снижает свойства кобальтовых сплавов. По уровню коррозионной стойкости в расплаве оксида свинца он практически не уступает сплавам на основе кобальта.

Хромоникелевый сплав ЭП-616А относится к сплавам системы Ni-Cr-Si-B, хорошо известным под торговым названием «Колмоной». Эти сплавы имеют невысокую температуру плавления 960...1050 °С, а также свойства самофлюсующихся припоев. Бор и кремний способствуют отличному формированию наплавленного слоя. Недостатком этих сплавов является склонность к образованию усадочных рыхлот. В структуре наплавленного металла этого типа наряду со сложной эвтектикой присутствуют бориды никеля и хрома.

Твердость никелевых сплавов колеблется от HRC 20 до 65. Как видно из рис. 1, при температурах 500...550 °С хромоникелевые сплавы с бором и кремнием не уступают стеллитам по жаропрочности, однако при более высоких температурах их горячая твердость, которая в определенной степени характеризует жаропрочность, ниже, чем у стеллитов.

По плотности и коэффициенту линейного расширения сплавы системы Ni-Cr-Si-B близки к стеллитам. Как видно из табл. 2, температура плавления сплавов на основе никеля 150N40X26B6 ниже, чем у кобальтовых стеллитов и сплава ЭП-616А.

Автоматическую наплавку клапанов сплавом 150N40X25B6 производили плазменной дугой по неподвижной присадке в виде металлокерамического кольца, которое изготавливается путем пресования мелкодисперсных порошков никеля, хрома, вольфрама, графита и других веществ и их последующего спекания в вакууме. В последние годы по ряду организационных причин промышленное производство металлокерамических колец прекращено, что привело к невозможности дальнейшего применения плазменной наплавки по неподвижной присадке при массовом производстве автомобильных клапанов.

Новые возможности для автоматической наплавки клапанов открывает плазменный способ с использованием присадки в виде металлического порошка, который отличается высокой производительностью при малом проплавлении основного металла [1]. Эффективность плазменно-порош-



Таблица 2. Физико-механические свойства сплавов на основе кобальта и никеля [1, 5, 6]

Марка сплава	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Коэффициент линейного расширения, К <sup>-1</sup> ·10 <sup>-6</sup>	Коэффициент трения	Предел прочности, МПа
110К65Х28В4 (стеллит № 6)	8,42	1290	14,9	0,07...0,13	740
140К60Х30В8 (стеллит № 12)	8,47	1285	14,4	0,07...0,13	530
110КХ30ВС (ВЗК)	8,49	1280	15,5	0,08...0,11	620
180КХ25Н20В12 (стеллит F)	8,68	1300	13,8	0,07...0,13	660
ЭП-616А	8,51	1230	15,0	0,07...0,09	536
150Н40Х25В6	8,55	1100	15,1	0,07...0,10	550

ковой наплавки во многом определяется качеством присадочного порошка. Последний должен иметь хорошую сыпучесть, малую газонасыщенность и заданный гранулометрический состав. В зависимости от конструкции плазмотрона, а также наплавляемых клапанов и седел применяют порошки с размером частиц 45...63 мкм (для клапанов легковых автомобилей) или 80...200 мкм (для клапанов тепловозных и судовых дизелей), которые получают, как правило, распылением жидкого металла инертным газом.

При плазменно-порошковой наплавке можно использовать более широкую гамму присадочных материалов, и этот способ наплавки в большей степени удовлетворяет возросшим требованиям, предъявляемым к клапанным-распределительным механизмам ДВС в связи с увеличением удельной мощности двигателей и повышением их экологических характеристик.

В зависимости от эксплуатационных требований, типоразмеров клапанов и седел для плазменно-порошковой наплавки используют сплавы с высокими эксплуатационными свойствами на основе кобальта или никеля 110КХ30ВС (ВЗК), 90КХ30Н6ВСР (АН34), 180КХ25Н20В12 (стеллит F), ЭП-616А, 50НХ25С5Р. Последний представляет особый интерес, так как по уровню исходной и горячей твердости он превосходит ЭП-616А (см. табл. 1) и к тому же более экономнолегированный. Этот сплав отличается высокой коррозионной стойкостью, термической выносливостью, очень хорошо ведет себя при трении металла по металлу

даже при больших давлениях [1]. Представление о структурных изменениях в сплаве 50НХ25С5Р, протекающих при рабочих температурах, дают проведенные исследования на dilatометре Шевенара при нагреве до температуры 900 °С со скоростью 150...170 °С/ч.

Как видно из рис. 2, в сплаве 50НХ25С5Р структурные превращения отсутствуют. Незначительные перегибы на кривых при температуре 650 °С, по-видимому, связаны с растворением в никельхромовом растворе частиц карбидов и боридов хрома. На основании оценки эксплуатационных и сварочно-технологических свойств сплав 50НХ25С5Р рекомендован к использованию вместо кобальтового сплава ВЗК для наплавки тяжело нагруженных клапанов 5Д70 дизельных двигателей тепловозов.

Качество наплавленного металла, экономические показатели процесса плазменно-порошковой наплавки клапанов во многом зависят от конструктивных особенностей разделки рабочей фаски под наплавку. В промышленной практике при плазменно-порошковой наплавке клапанов используют два типа разделки: трапециевидную и радиусную. Трапециевидная разделка (рис. 3, а) по сравнению с радиусной (рис. 3, б) имеет определенные преимущества, так как позволяет наносить слои меньшей толщины и за счет этого уменьшить расход присадочного порошка, получать минимальные припуски под механическую обработку, а также стабилизировать тепловложение по ширине разделки и улучшать формиро-

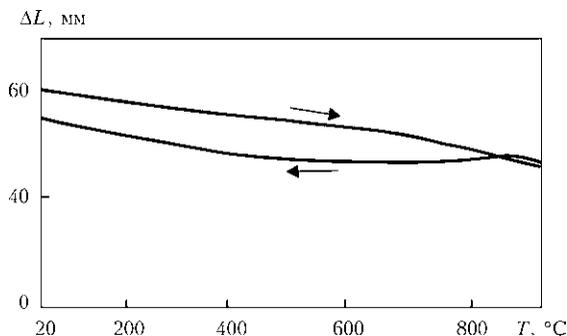


Рис. 2. Dilатометрическая кривая нагрева-охлаждения сплава 50НХ25С5Р

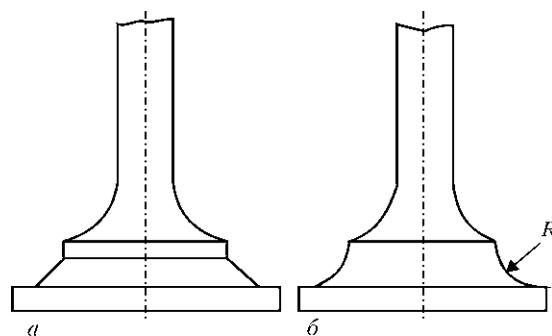


Рис. 3. Схемы трапециевидной (а) и радиусной (б) разделок заготовок клапанов под наплавку

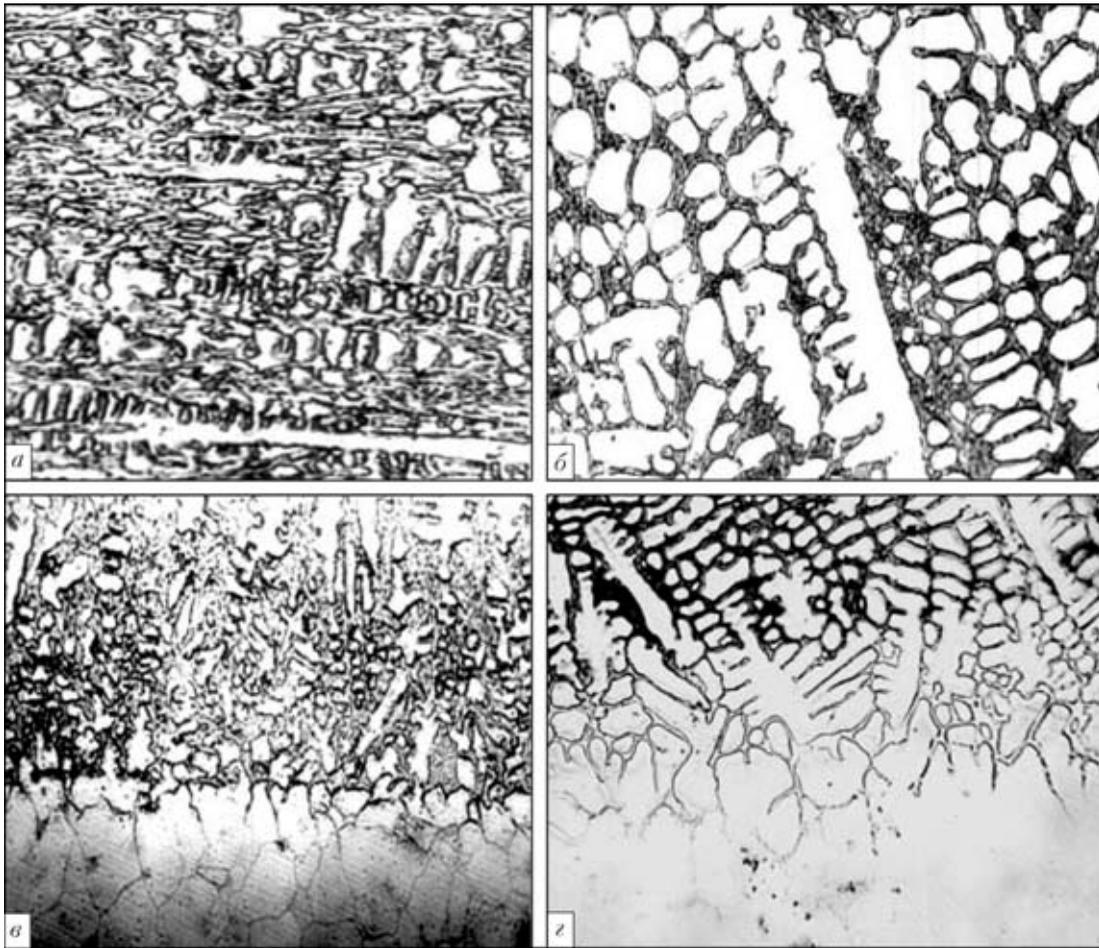


Рис. 4. Микроструктуры ( $\times 480$ ) наплавленного металла типа кобальтовых сплавов K60X30BC (а), K25X25H20B12 (б) и зоны сплавления (в, з) с сталью для клапанов 55X20Г9АН4

вание наплавленного слоя. Технологические эксперименты показали, что оптимальный угол раскрытия трапецевидной разделки составляет  $90^\circ$ .

Клапан в процессе наплавки устанавливают на водоохлаждаемом подпятнике и для лучшего теплоотвода чистота поверхности, контактирующей с подпятником, должна быть не ниже 5 класса шероховатости.

Особые сложности вызывает наплавка клапанов легковых автомобилей небольших размеров, к которым предъявляются жесткие требования к качеству, надежности и эксплуатационным свойствам. Это требует точного выбора законов изменения параметров и алгоритма технологического процесса наплавки в целом.

При выборе параметров режима исходили из необходимости обеспечения максимальной скорости наплавки, при которой формирование наплавленного слоя еще не нарушается (для клапанов легковых автомобилей —  $15 \dots 22$  м/ч). Массовая скорость подачи порошка должна обеспечивать требуемые размеры наплавленного слоя. Ток основной и вспомогательной дуг подбирали такими, чтобы обеспечивалось надежное и бездефектное соединение наплавленного слоя с материалом заготовки, и в то же время разбавление наплавленного металла материалом основы было минимальным ( $5 \dots 7$  %).

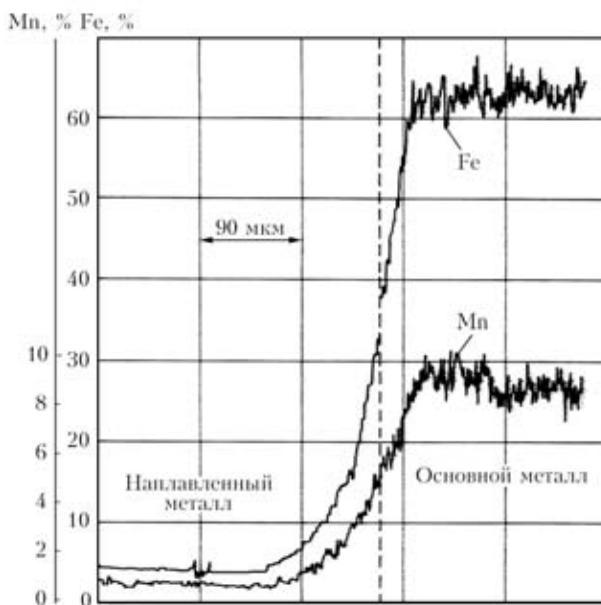


Рис. 5. Распределение железа и марганца в зоне сплавления кобальтового сплава K25X25H20B12 с сталью для клапанов 55X20Г9АН4

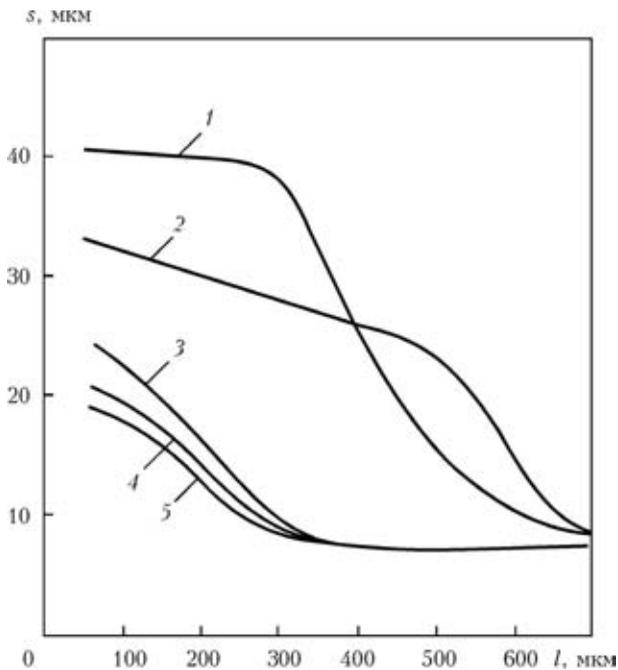


Рис. 6. Зависимость размера зерна  $s$  от расстояния от границы сплавления  $l$  при индукционной (1, 2) и плазменно-порошковой наплавке (3–5) клапанов различными сплавами: 1, 3 — K60X30BC; 2, 4 — ЭП-616А; 5 — K25X25H20B12

Поскольку в процессе наплавки заготовка клапана существенно и неравномерно разогревается дугой, для обеспечения ее равномерного и минимального проплавления значения тока основной и вспомогательной дуг, а также производительность подачи присадочного порошка изменяли по определенным, подобранным на основании методических экспериментов законам.

С учетом того, что время наплавки клапана легкового автомобиля не превышает 10 с, требуемые показатели по качеству и производительности плазменно-порошковой наплавки этих деталей достигаются только при компьютерном управлении основными параметрами процесса и высокой надежности механической части наплавочного оборудования.

В ходе металлографических исследований установлено, что структура металла, наплавленного порошками ПР-К60X30BC и ПР-КХ25H20B12 на сталь для клапанов 55X20Г9АН4, состоит из твердого раствора на основе кобальта и эвтектической составляющей из смеси карбидов и твердого раствора, в зоне их сплавления дефекты отсутствуют (рис. 4, а–г). Переходная зона между основным и наплавленным металлом при наплавке кобальтовых сплавов составляет 100...150, а при наплавке никелевых сплавов — 50...100 мкм. На расстоянии 0,15...0,20 мм от границы сплавления практически достигается заданная твердость наплавленного слоя. Благодаря этому для обеспечения необходимой работоспособности клапана после механической обработки достаточно иметь наплавленный слой толщиной 0,5...0,8 мм, что су-



Рис. 7. Внешний вид клапана дизельного двигателя 5Д70, наплавленного плазменно-порошковым методом сплавом 50НХ25С5Р, непосредственно после наплавки (а) и после 5000 ч эксплуатации (б) и макрошлиф наплавленного клапана (в)

щественно экономит расход присадочного порошка. Содержание железа в наплавленном металле не превышает 5 % (рис. 5).

Ширина зоны перегрева с крупным аустенитным зерном при плазменно-порошковой наплавке составляет всего 0,2...0,3 мм. Это выгодно отличает ее от индукционной наплавки, при которой основной металл неизбежно подвергается сильному перегреву с обширной зоной крупного зерна (рис. 6).

Как правило, плазменно-порошковая наплавка наиболее эффективна при серийном производстве новых клапанов и седел ДВС. Внешний вид (рис. 7, а) и макрошлиф наплавленного сплавом 50НХ25С5Р клапана дизельного двигателя 5Д70 (рис. 7, в) указывает на хорошее качество и формирование валиков при плазменно-порошковой наплавке, что сокращает трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков. На рис. 7, б представлен этот же клапан после 5000 ч эксплуатации на дизельном двигателе тепловоза. Осмотр показал, что контактные фаски головки клапанов имеют незначительный и равномерный износ, а следов коррозии и других повреждений не наблюдается.

Плазменно-порошковую наплавку достаточно широко применяют при ремонте изношенных клапанов и седел крупных судовых дизелей (диаметр уплотнительных поверхностей 300...450 мм). Наплавку выполняют за один проход с предварительным, а иногда и сопутствующим подогре-



вом. После наплавки обеспечивается замедленное охлаждение наплавленных клапанов. Для изготовительной и ремонтной наплавки клапанов и седел различных типоразмеров в мелкосерийном производстве могут использоваться универсальные установки для плазменно-порошковой наплавки, а в серийном — специализированные установки с компьютерным управлением.

Плазменно-порошковая наплавка позволяет наплавлять всю номенклатуру клапанов: от клапанов малолитражных двигателей до клапанов крупных судовых дизелей. Этот способ имеет достаточно большую гибкость, так как позволяет легко переходить от одной конструкции клапана к другой, использовать практически любые сплавы независимо от их температуры плавления, способности самофлюсоваться и других свойств. Плазменно-порошковая наплавка обеспечивает экономный расход наплавочных материалов (в

2...3 раза меньше, чем при индукционной наплавке), высокое качество наплавленного металла, минимальный разогрев клапана и малые припуски на механическую обработку.

1. *Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.* Плазменная наплавка. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 296 с.
2. *Копылов Д. Ю., Аманов С. Р.* Изучение закономерностей влияния термического цикла на свойства покрытия сплавом ЭП-616А // Наука, техника, образование г. Тольятти и Волжского региона. — Тольятти: ТолПИ, 2001. — Ч.2. — С. 226–233.
3. *Технология* плазменно-порошковой наплавки выпускных клапанов автомобильных двигателей ВАЗ / С. Р. Аманов, А. В. Каргин, Д. Ю. Копылов, Б. Н. Перевезенцев // Свароч. пр-во. — 2005. — № 2. — С. 33–40.
4. *Wu J. B. C., Redman J. E.* Hardfacing with cobalt and nickel alloys // *Welding J.* — 1994. — № 9. — С. 63–68.
5. *Мальшевский В. А., Муравьев К. К.* Структура и свойства кобальтовых стеллитов // Свойства материалов в турбостроении и методы испытаний / Под ред. А. И. Чижики. — М.; Л.: Машгиз, 1962. — С. 100–107.
6. *Knotek O., Lugscheider E., Eschnauer H.* Hartlegierungen zum Verschleis. Schutz. — Duesseldorf, 1975. — 285 S.

Properties of alloys based on cobalt and nickel for plasma surfacing of exhaust valves of gasoline and diesel engines of cars and lorries, as well as engines of diesel locomotives and ships, are considered. Recommendations on application of powders of various compositions for valve surfacing are given.

Поступила в редакцию 18.04.2012

## НОВАЯ КНИГА

**Лащенко Г. И. Современные технологии сварочного производства.**  
— Киев: Екотехнологія, 2012. — 720 с.

Изложены направления развития и совершенствования технического уровня сварочного производства и качества изготовления сварных конструкций. Дана характеристика современных конструкционных материалов, описаны пути повышения точности изготовления сварных конструкций, уровня механизации и автоматизации сварочного производства. Освещены принципы управления качеством сварных конструкций. Приведены современные электродуговые, плазменные, лазерные и фрикционные технологии сварки, наплавки, напыления и резки сталей, алюминиевых сплавов, титановых сплавов и пластмасс.

Рассчитана на инженерно-технических работников, занятых в области сварочного производства. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам технических университетов.

