

вертикальной и наклонной стенках коробчатой балки. Положение предварительно закрепленного блока направляющих проверяется при передвижении на холостом ходу сварочного автомата. Перемещением сварочного трактора 1 в крайнее положение выводят удлинитель со сварочным мунштуком наружу за пределы коробчатой балки мостовой конструкции на выводные планки 8 и выполняют сварку нижнего пояса балки моста 7.

Работы по сварке производственных конструкций соединений блоков начаты РУП «Мостострой» в марте текущего года и уже проведена сварка половины запланированного объема работ. Под руководством сертифицированного специалиста сварочного производства 3-го уровня инженера Корнышевой И.Н. сварочные работы с высоким качеством выполняют сварщики Витебского МСУ-5 РУП «Мостострой» Косовец А.Л., Кульман Н.Л., Бегунов Д.Н., Волосевич С.Г. и другие. 100% объем ультразвукового контроля качества выполненных сварных соединений показал положительные результаты — все сварные швы сданы представителям заказчика (РУП «Витебскавтодор») с первого предъявления.

В настоящее время творческий коллектив специалистов НИКТИ СП с ОП в составе: заместителя директора института к.т.н. Радченко А.А., руководителя работ Писарева В.А., ведущих специалистов института Нестерова В.Г., Окуня Г.И., Стасевича С.И. ведут подготовку к новым работам — полному технологическому обеспечению сварочных работ при монтаже металлоконструкций моста через реку Западная Двина в г.Верхнедвинске, выполняемого персоналом РУП «Мостострой», а также моста через реку Днепр на автодороге Орша-Шклов (д. Александрия), который выполняет Мостоотряд № 425, г. Витебск. Несмотря на сложность поставленных задач сегодня можно с уверенностью сказать о реальных возможностях белорусских мостостроителей и перспективах их работ, которые за столь короткий срок с активной помощью специалистов НИКТИ СП с ОП освоили сложный технологический процесс — автоматическую сварку мостовых металлоконструкций без дополнительного привлечения валютных средств для технологического обеспечения и подготовки кадров.

## ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ НАПЫЛЕНИЕ — ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВТУЛОК ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

*Кадников С.А., Физико-технический институт НАН Беларуси*

Разработанные в Физико-техническом институте НАН Беларуси способы получения защитных покрытий на внутренних поверхностях полых изделий [1, 2], позволяют решать многие технические задачи по повышению эксплуатационных свойств узлов и деталей машин. В указанных способах используются газотермические методы получения покрытий, отличающиеся универсальностью, широкими техническими возможностями и не требующие дорогостоящей технологической оснастки. Созданные на их основе технологии изготовления втулок подшипников скольжения обеспечивают существенное повышение их прочностных и триботехнических характеристик [3,4]. Последнее связано с возможностью применения практически неограниченной гаммы материалов, получаемых из композиционных порошков, либо из гетерогенных порошковых механических смесей.

Возникает естественный вопрос: почему при вы-

сокой развитости газотермических методов получения покрытий (газопламенные, плазменные, электродуговые) и давно установленном факте, что триботехнические покрытия, изготовленные этими методами, по свойствам часто превосходят триботехнические материалы [5], получаемые по традиционным технологиям (литье, прокат, порошковая металлургия), они до настоящего времени сколько-нибудь широкого применения в технологиях изготовления опор скольжения не получили? Последнее связано с несколькими обстоятельствами. Во-первых. Не удалось преодолеть чисто технические трудности образования покрытий на внутренних поверхностях полостей с отношением их диаметра к длине менее 0,5. Это связано с большими габаритами как самих напылительных устройств (горелок, плазмотронов, металлаторов), так и с необходимостью выдерживания при напылении определенной дистанции от среза со-

пла до напыляемой поверхности. Во-вторых. В процессе послойного осаждения перегретых частиц, в покрытии возникают растягивающие остаточные напряжения, которые могут привести к отслаиванию напыленной втулки от корпуса подшипника или к появлению на поверхности трения макро- и микротрещин, снижающих износостойкость покрытия.

При использовании технологии получения втулок по [1,2] все вышеперечисленные недостатки удается преодолеть, обеспечивая в приповерхностных рабочих слоях сжимающие остаточные напряжения. Становится возможным изготовление подшипников с втулками диаметром от 10 мм до практически неограниченных размеров. При этом со значительно большей эффективностью, чем в традиционных технологиях, могут быть использованы высокофосфористые бронзы, отличающиеся, как известно [5], наилучшими триботехническими свойствами. Последнее связано с тем, что при газотермическом напылении кристаллизация частиц при попадании их на подложку происходит быстро и в объеме каждой отдельно взятой частицы [6], что исключает образование структурных дефектов в виде сегрегации, дендритности, обратной ликвации, характерных для литых структур сплавов с легкоплавкими эвтектиками, существенно снижающих их механические и триботехнические свойства. Тем не менее, остаются открытыми, по крайней мере, два вопроса: производительность и экономичность обсуждаемой технологии. Хотя они напрямую не всегда связаны с самым востребованным в настоящее время критерием — качеством продукции, определяющим ее рынок сбыта [4], исключать их из рассмотрения нельзя.

О производительности. Серийно выпускаемые установки газотермического напыления имеют производительность от 1 г/с до 5г/с, т.е. за одну рабочую смену одна установка обеспечивает, если даже взять минимальную производительность 1г/с, порядка 25 кг (1г/с-3600с-7часов) металла - покрытия. Следовательно, за одну рабочую смену на установке самой малой производительности может быть изготовлено 240 штук (25000 г: 102,6 г) втулок диаметром 40 мм, длиной 50 мм и толщиной стенки 2 мм (102,6 г — масса такой втулки). Об экономичности. Зададимся вопросом: при каких геометрических параметрах втулки, ее изготовление технологией газотермического напыления будет экономически эффективнее, чем изготовление этой втулки точением из прутка?

Рассмотрим кольцо (рис. 1). Известно, что площадь кольца равна

$$F=0,7854(D^2-d^2)=k(D^2-d^2) \quad (1)$$

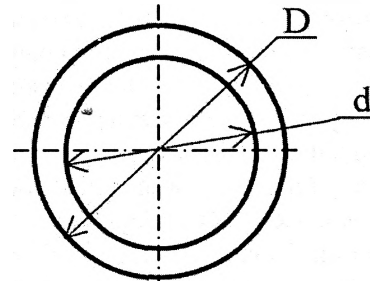


Рис. 1

Тогда масса втулки длиной  $l$ , будет  $M_e = F \cdot l = k \cdot l \cdot \rho (D^2 - d^2)$ , где  $\rho$  — плотность материала кольца.

Так как толщина стенки втулки:

$$\delta = (D - d) / 2,$$

т.е.  $2\delta = D - d$ , а  $D^2 - d^2 = (D - d)(D + d)$ , то  $M_e = k \cdot l \cdot \rho (D - d)(D + d) = 2 k \cdot l \cdot \rho \cdot \delta (D + d)$ .

Так как  $d = D - 2\delta$ , то  $(D + d) = D + D - 2\delta = 2(D - \delta)$ .

Тогда масса заготовки при изготовлении втулки напылением будет:

$$M_e = k \cdot l \cdot \rho \cdot \delta (D - \delta). \quad (3)$$

Масса заготовки при точении втулки из прутка:

$$M_n = k \cdot l \cdot \rho \cdot D^2 \quad (4)$$

Изготовление втулок напылением будет экономически выгодно, если ее стоимость будет меньше, чем при изготовлении точением из прутка, т.е. если

$$C_{np} \cdot M_n \geq C_{пор} \cdot M_e, \quad (5)$$

где  $C_{np}$  — стоимость пруткового металла, руб/кг,

$C_{пор}$  — стоимость порошка, руб/кг.

Тогда, используя формулы (3), (4), имеем:

$$C_{np} \cdot l \cdot \rho \cdot k \cdot D^2 > C_{пор} \cdot 4 \cdot l \cdot k \cdot \delta (D - \delta), \text{ т.е.}$$

$$C_{np} \cdot D^2 \geq C_{пор} \cdot 4 \delta (D - \delta) \text{ или } D \geq 2 \sqrt{\left(\frac{C_{пор}}{C_{np}}\right) \delta (D - \delta)}.$$

$$\text{Или } D - 2 \sqrt{\left(\frac{C_{пор}}{C_{np}}\right) \delta (D - \delta)} \geq 0. \quad (6)$$

Следовательно, при выполнении условия (6) экономически целесообразно изготовление втулок газотермическим напылением вместо точения из прутка. На январь 2006г. по данным БелЦвет-Мета стоимость 1 кг бронзового прутка ( $C_{np}$ ) диаметром 40-100 мм марки БрОЦС-4-4-4 составляет 18700 белорусских руб., а стоимость 1 кг порошка бронзы ( $C_{пор}$ ) БрОФ10-03 производства Молодечненского завода порошковой металлургии — 25500 белорусских рублей, следовательно:

$$(C_{\text{пор}}/C_{\text{пр}})=25500/18700=1,36.$$

Тогда в соответствии с формулой (6) имеем:

$$D - 2\sqrt{1,36 \cdot \delta(D - \delta)} = D - 2,36\sqrt{\delta(D - \delta)}, \text{ мм. (7)}$$

Если  $[D - 2,36\sqrt{\delta(D - \delta)}] \geq 0$ , то при сегодняшних ценах на металл в прутках и порошке технология изготовления опор скольжения газотермическим напылением более экономична, чем изготовление их точением из прутка.

Например. 1) Бронзовая втулка с наружным диаметром  $D=40$ мм, толщиной стенки  $\delta=10$ мм. По формуле (7) имеем:

$$40 - 2,36\sqrt{10(40 - 10)} = -0,8.$$

Вывод: такую втулку выгоднее выточить из прутка бронзы (при условии пренебрежения всеми другими преимуществами напыленных слоев, о чем отмечалось выше).

2) Бронзовая втулка с наружным диаметром  $D=40$ мм, толщиной стенки  $\delta=6$ мм. По формуле (7) имеем:  $40 - 2,36\sqrt{6(40 - 6)} = 6,3$ .

Вывод: такую втулку выгоднее получать газотермическим напылением.

3) Такая же втулка, но толщиной стенки  $\delta=2$ мм. По формуле (7) имеем  $40 - 2,36\sqrt{2(40 - 2)} = 25,5$ .

*Вывод:* Точить такую втулку из прутка – преступное расточительство. Таким образом, разработанная технология изготовления втулок подшипников скольжения с технической и экономической точек зрения при выполнении изложенных условий эффективна при использовании ее практически на всех предприятиях, где применяются подшипники скольжения.

#### Литература

1. Авторское свидетельство СССР № 1.642.779 от 15.12.1990.
2. Патент Республики Беларусь № 843, 2002.05.08.
3. Егоров А.Н. БелАЗ: Высокие технологии на службе производства. Сб. Наука - народному хозяйству. Минск, 2002г. НАН Беларуси.
4. Мариев П.Л., Моисеенко В.И. Современная наука о прочности конструкционных сталей и деталей машин в обеспечении конкурентоспособности карьерных самосвалов. Сб. Наука - народному хозяйству. Минск, 2002г. НАН Беларуси.
5. Зазуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников. Киев 1989.
6. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. Москва, Наука. 1997.

## БЕЛАРУСЬ КОСМИЧЕСКАЯ

Сегодня уже не актуален вопрос, нужен ли Беларуси космос? Наша страна — полноправный член мирового космического клуба и имеет свой долгосрочный национальный проект.

По словам генерального директора Института информатики НАН Беларуси Сергея Владимировича Абламейко, в Беларуси для успешного становления космических технологий были все предпосылки, еще во времена СССР наши ученые активно участвовали во всех космических программах. В республике была развита приборная база, создавались уникальные спутниковые камеры для дистанционного зондирования Земли в различных спектральных диапазонах, сложнейшие оптоэлектронное и радиотехническое оборудование для траекторных измерений при запуске космических аппаратов и многое другое.

Первая белорусско-российская программа «Космос БР» (1999–2002) позволила восстановить утраченные после распада Советского

Союза связи и вновь объединить усилия по освоению космоса.

Многолетний опыт и плодотворное сотрудничество с российскими коллегами по космической тематике позволили Беларуси развернуть масштабный совместный проект по созданию космической системы «БелКА». Значительная доля разработок, выполненных в рамках этой Программы, принадлежит институтам Национальной академии наук Беларуси. Создан центр приема и обработки спутниковой информации дистанционного зондирования (ДЗЗ), предназначенный для приема информации с российского космического аппарата «Метеор-3М» и американских метеорологических спутников NOAA с разрешением в один километр. Признанными лидерами на постсоветском пространстве в разработке топографических спутниковых фотокамер и высокоточных оптико-электронных комплексов траекторных измерений по-прежнему являются Бело-