

ных формах приведены на рис. 1. Минимальные перепады температур, а следовательно, и меньшие литейные напряжения имеют место при литье валков в земляную форму. Однако эта технология не обеспечивает качества поверхности и требуемого уровня свойств металла. Поэтому отливка в комбинированную форму более предпочтительна. Для снижения напряжений и обеспечения необходимого уровня твердости все стальные валки подвергают термообработке. Обычно это двойная или тройная нормализация с высоким отпуском. Валки диаметром > 600 мм рекомендуется подвергать термической обработке с горячего всада во избежание образования трещин.

В информационных материалах приводятся широкие пределы содержания элементов, однако отсутствуют данные о концентрации основных добавок (в частности, кремния, марганца и углерода), о способе ввода и количестве добавок модификаторов. Кроме того, опубликованные данные ограничиваются лишь перечислением вводимых лигатур, которые, судя по структуре сталей, содержат повышенный процент кремния, кальция или других элементов этой группы, а также поверхностно - активные добавки - магний, церий и другие.

Модифицирование осуществляется как в печи, так и в ковше. В США для получения материалов с включениями шаровидного графита применяют модификатор, состоящий из пористого металлургического кокса или формованного графита с добавками поверхностно - активных элементов (магния, калия, рубидия, цезия).

При производстве графитизированной стали используются методы внепечного рафинирования. Наиболее распространены - вакуумная дегазация стали при давлении 0,5 - 10 мм. рт. ст.; обработка газами (аргоном, азотом) совместно с добавками порошкообразных модификаторов. Обработка газом - носителем способствует одновременно раскислению, дегазации расплава и переносу порошка, содержащего кремний, алюминий и кокс. При расчетах количества составляющих модификатора рекомендуется выдерживать определенное соотношение. Так, например, при введении кокса и алюминия оно должно быть равно 1:3.

Уровень прочности при разрыве заэвтектоидных сталей составляет 372 - 490 МПа, а графитизированных 490 - 980 МПа. Более низкую прочность имеют нелегированные графитизированные стали, а высокую - легированные. Последние, кроме того, отличаются высокими значениями предела прочности при изгибе 784 - 1666 МПа, удлинения 5 - 25%, ударной вязкости 43,0 - 69,0 кДж/м². Максимальные значения прочностных характеристик имеют стали с 1,2%С. Твердость легированных графитизированных сталей после специальной термообработки достигает 45-55 НS, что выше, чем у чугуна с шаровидным графитом, применяемого для валков обжимных клетей (34-50 НS). Предел прочности чугуна при разрыве составляет 490 - 558 МПа.

В черновых группах клетей в ФРГ, Японии и Швеции применяют валки из низколегированной заэвтектоидной стали типа 150 ХНМ после двойной термообработки с твердостью 35 - 48 НS. Валки из стали с более высоким содержанием углерода (до 1,8-1,9%) применяют и в промежуточных клетях. Дополнительно в этих клетях используют валки из легированной графитизированной стали с твердостью 30 - 50 НS (табл. 1).

Из данных таблицы видно, что такие валки в Японии (фирма «Ядогава») изготавливают из нелегированной стали центробежным методом, где в качестве сердцевины используют углеродистую сталь, близкую к заэвтектоидному составу.

Японская фирма «Канток», шведская - «Акерс», французская - «Узинор», итальянская - «Иннзе» применяют для обжимных и черновых клетей, заготовочных и рельсобалочных, широкополосных станков низколегированные графитизированные стали, содержащие 1,2-2,2 %С, 1,3-2,0 %Si, 0,5-1,5 %Mn, 0,8-1,5 %Cr, до 1,5 %Ni, а в ряде случаев и 0,2-0,7 %Mo. Такие валки подвергают сложной термической обработке, параметры которой не раскрываются. Однако, если судить по их марке, то можно сказать, что шведская фирма «Акерс» поставляет валки после двойной термообработки - НН.

Выполненный анализ по применению валков для различного назначения из графитизированной стали будет использован и детально изучен при конкретном применении на мелкосортных станках.

Литература

1. Скобло Т.С., Воронцов Н.М., Будагьянц Н.А. и др. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. М.: Из-во «Металлургия», 1994, -336С.
2. Nastad R.K., Worzada F.J., Loper C.R. The fracture characteristics of nodular cast iron. -Mat. Cast iron. Proc. 2th int. Symp., Geneva, 1974, St. Saphirin, 1975, p.789-801.

УДК 621.793.

ОБРАБОТКА ППД ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ЭИО

Скобло Т.С., докт. техн. наук, проф., Сидашенко А.И., Науменко А.А.,

Мартыненко А.Д., Харьков А.В.

(г. Харьков, Украина)

In article the way of the surface coverings improvement is considered. Results of experiments that depends conditions of the detail surface are analyzed. Characteristics of the detail surface after plastic deformation are presented

При восстановлении деталей машин и оборудования большое значение приобретают не только достигнутые показатели прочности и твердости поверхности трения, но и работоспособность детали в целом. Разогревая рабочий слой при упрочнении и восстановлении наплавкой, имеет место разупрочнение переходной зоны и сердцевины, что может нарушить ее служебные характеристики: снизить жесткость, привести к потере формы и полкам. При выборе способа нанесения компенсирующего износ покрытия деталей важным является оцен-

ка условий их работы (тип сопряжения, виды трения и относительное перемещение поверхностей при эксплуатации, температурный режим и рабочая среда). Именно это определяет выбор материала и способа упрочнения покрытия.

Традиционными методами наплавки длинномерные детали практически восстановить не представляется возможным, т.к. требуется высокая температура предварительного и сопутствующего подогрева, которые разупрочняют сердцевину, теряется форма детали, а из-за большой доли карбидной фазы возрастает склонность к повреждаемости структуры.

Кроме того, используя в качестве наплавочных, широко применяемые низко- и среднеуглеродистые материалы, из-за различия в коэффициентах линейного расширения с металлом детали, в зоне сплавления формируются дефекты, резко снижающие качество и надежность восстановленной детали. В ней формируются микротрещины, изменяется субструктура, развивается выраженная карбидная неоднородность, что ведет к большому разбросу твердости и неравномерному износу [1, 2]. Детали из нетехнологичных материалов, например, стали ШХ15, а также группы с величиной износа до 1,0мм целесообразнее всего восстанавливать с использованием высококонцентрированных источников энергии. К числу таких технологических способов относится электроискровой метод, который позволяет для восстановления использовать электроды близкие по свойствам к стали ШХ15 – высокохромистые стали и непосредственно эту же сталь.

Промышленное использование метода электроискровой обработки (ЭИО) было разработано Лазаренко Б.Р. и Лазаренко Н.И. Исследованиями этих специалистов показано, что электроискровым методом можно сформировать покрытие любыми токопроводящими материалами. Эффективность этого метода заключается в том, что он позволяет [2-5]:

- получать пары трения с заданными физико-механическими свойствами;
- упрочнять и наращивать слой при сохранении свойств сердцевины детали;
- наращивать слой на детали из нетехнологичных, но износостойких материалов (высокоуглеродистые сплавы – заэвтектоидные стали и чугуны);
- обеспечить нанесение покрытия небольшой величины равного износу при эксплуатации;
- получать упрочненный слой без значительной химической сегрегации примесей;
- обеспечивать формирование упрочненного слоя с очень мелким зерном;
- в результате быстрой кристаллизации повышать предел растворимости легирующих элементов, упрочнять матрицу, увеличивать долю дисперсной карбидной фазы, в том числе и на стадии вторичного твердения;
- обеспечивать формирование новых метастабильных фаз, расширяющих возможность использования последующей термической обработки и пластической деформации.

Особенностью структур, полученных при электроискровой обработке (ЭИО) является то, что они формируются в условиях сверхскоростного охлаждения. При этом осуществляется перенос металла с анода (электрод) на катод (деталь). Скорость кристаллизации по данным [2-4] достигает 10^5 - 10^6 К/с. Такая высокая скорость обеспечивает формирование дисперсного зерна ($\approx 4 \times 10^{-2}$ мкм и менее). При традиционных высокоскоростных методах затвердевания его величина составляет 0,1–10мкм [1-4]. Известно, что с уменьшением размера зерна существенно возрастает твердость, прочность и пластичность материала.

При электроискровом нанесении покрытия практически не прогревается основной металл детали, а в наращиваемом слое формируются растягивающие напряжения. Процесс электроискровой обработки помимо ряда преимуществ перед другими методами получения покрытий имеет и недостатки. К ним относятся: малая толщина наносимых слоев ($\approx 0,2$ – $1,0$ мм); низкая производительность процесса; сложность получения микрорельефа заданной шероховатости.

Целью исследований явилось определение эффективной области применения данной технологии, разработ-

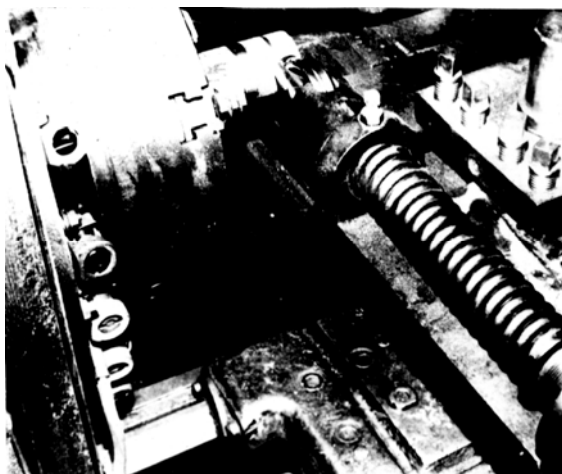


Рис. 1. Общий вид обкатника.

ка технологических операций, оборудования и предложений по их совершенствованию для повышения качества восстановленных деталей. Эти недостатки могут оказаться незначительными при определении рациональных областей использования метода или совершенствовании оборудования и технологии. Так, например, ЭИО эффективна в случае, когда величина износа детали не превышает формируемого слоя покрытия этим методом ($\leq 1,0$ мм). Из анализа литературы [2-5, 7] видно, что 90% процентов вышедших из строя деталей сопряжений имеют износ до 0,1мм. Как было показано ранее, для увеличения производительности процесса целесообразно использовать одновременно несколько электродов.

Что касается формируемой шероховатости, то ее величина не имеет особого значения в случае использования обкатки или других методов поверхностно-пластической деформации (ППД). Совместное использование методов ЭИО и ППД упрочняет поверхностный слой детали, уменьшает его пористость, снижает уровень растягивающих напряжений, а в ряде случаев обеспечивает формирование – сжимающих.

Для их уменьшения и дополнительного упрочнения поверхностного слоя разработали конструкцию обкатника, который смонтировали на установку для электроискровой обработки поверхностей длинномерных деталей, позволяющий производить обработку одновременно с нанесением покрытия (рис.1). Кроме того, использование обкатника (обеспечивает давление до 50МПа) позволяет повысить не только качество обрабатываемой поверхности - снижение степени шероховатости и уменьшение объемов последующей шлифовки, но и увеличить высоту наращиваемого слоя за счет многослойной обработки при нанесении покрытия.

Проведенные в данной работе исследования были сопоставлены с результатами, полученными ранее по эксплуатационной стойкости покрытий, нанесенных другими методами. По данным литературных источников и лабораторно-промышленных испытаний анализировали различные направления [8, 9] в области повышения эксплуатационной стойкости штоков турбин:

- химико-термическая обработка (азотирование) по высокотемпературному режиму в среде аммиака, разбавленного азотом (карбохромирование);
- электроискровое легирование электродом из стали 10X18H10T, 10X13 с последующей обкаткой обработанной поверхности стальным шариком (роликом). Такой материал электрода для формирования покрытия выбран исходя из требований эксплуатации [8 - 10];
- плазменное напыление с использованием смеси (90% ПН70Х17С4Р4 + 10% Cr₃C₂) по технологии: напыление, термоциклирование напыленного слоя и последующее его оплавление;
- плазменная наплавка.

Методы химико-термической обработки или не обеспечивают требуемый уровень износо- и коррозионной стойкости поверхности (высокотемпературное азотирование в среде аммиака разбавленного азотом), или в 1,5-2 раза снижают прочностные свойства сердцевины (карбохромирование) при высокой температуре эксплуатации.

Технология плазменного напыления также обеспечивает требуемый уровень износо- и коррозионной стойкости штоков в течение заданного срока службы (≈ 40000 ч) и позволяет восстанавливать штоки, бывшие в эксплуатации, с износом поверхности 0,10-0,50мм. Но внедрение данной технологии на АО "Турбоатом" потребует значительно больших экономических затрат по сравнению с технологией электроискрового наращивания покрытия. Плазменная технология требует также высококвалифицированного обслуживающего персонала, кроме того, она более сложная (включает множество операций) и продолжительная. Технологию плазменного напыления целесообразно применять для восстановления деталей непосредственно на электростанциях.

Технология ЭИО обеспечивает требуемый уровень износо- и коррозионной стойкости поверхности штоков в течение заданного срока службы (≈ 40000 ч). Ее внедрение в производство не потребует значительных экономических затрат: использования дорогостоящего оборудования; экологической защиты; высококвалифицированного персонала. Данная технология может быть использована не только в качестве упрочняющей, но и позволит также восстанавливать штоки бывшие в эксплуатации, с износом поверхности не бо-

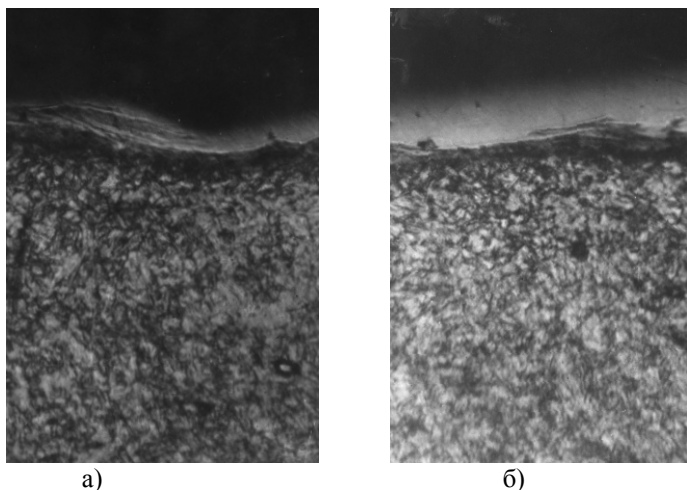


Рис. 2. Структура при ЭИО: а, б $\times 100$; а - до обкатки; б - после обкатки (при нагрузке 300Н).

лее 0,10мм.

На основании проведенного комплекса лабораторных исследований установлены оптимальные параметры нанесения покрытия электроискровым методом штоков узла парораспределения турбин, взамен их азотирования или хромирования и разработана технология процесса:

- предварительная подготовка поверхности штоков (шлифовка и термообработка);
- электроискровая обработка для нанесения покрытия на штоки турбин электродом 10X13, или 10X18H10T за три прохода;
- обкатка роликом (нагрузка 300Н) покрытия до чистоты поверхности $R_z=0,63$ мкм.

После такой обработки высота нанесенного слоя равна 0,15-0,16мм, а микротвердость покрытия – Н-100 – 700-720.

Согласно данным усталостных испытаний, проведенных на производстве, сталь 10X18H10T целесообразно использовать в качестве анода для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. ППД после ЭИО увеличивает усталостную прочность деталей на 4-5% (с $\sigma_{-1}=290-300$ МПа до $\sigma_{-1}=305-315,0$ МПа) и улучшает конфигурацию слоя (рис. 2а, б). ППД не изменяет другие механические характеристики.

Восстановительные покрытия методом ЭИО проводили и для других деталей сельскохозяйственной техники, изготовленных из стали 45. Обработке подвергали ступицу ведомого диска муфты, ось блока шестерен, шатунные паль-

цы, распределительный вал, шестерни трансмиссии (торцевая поверхность), головки шатунов (внутренняя поверхность). ППД деталей, обработанных методом ЭИО, проводили при нагрузках 100-500Н (табл. 1).

Из приведенных данных видно, что оптимальная нагрузка для обкатки составляет 300-400Н. Причем наибольшее упрочнение и более высокое качество поверхности достигаются при использовании электрода на никелевой основе.

Таблица 1

Влияние величины нагрузки на чистоту поверхности и конфигурацию слоя

Материал электрода	Величина нагрузки, Н	Чистота обработки, R_z , мкм	Характеристика конфигурации слоя
30X13	100	2,9-3,3	Не изменяется
	200	2,9-3,3	То же
	300	2,9-3,3	То же
	400	2,9-3,3	То же
	500	2,9-4,2	Волнистость и смятие отдельных участков слоя
10X18H10T	100	1,2-1,9	Не изменяется
	200	0,9-1,15	То же
	300	0,6-0,9	То же
	400	0,35-0,67	То же
	500	0,38-0,69	Волнистость

В связи с тем, что толщина покрытия, наносимого методом ЭИО за три прохода электродом и последующим ППД, не превышала 1мм на диаметр детали, то прочность сцепления его с основным материалом оценивали, не по общепринятой методике, а использовали предложенную в работах А.П. Гуляева и Н.Т. Гудцова.

Оценку уровня прочности производили при нагрузках на индентор $P=50$ и 100г. Оценив прочность сцепления получили, что даже при нанесении хромистого покрытия (электрод из стали 30X13) она обеспечивается на уровне ≥ 800 МПа (80 кг/мм^2). Прочность материала подложки: сталь 40X, 45X – 570-590МПа; Ст.3– 450МПа; ШХ 15–590-730МПа; 20X1M1Ф1ТР – 630МПа; высокопрочный чугун – 400МПа.

В результате выполненных исследований установлено следующее:

- для увеличения толщины слоя покрытия, наносимого методом ЭИО, и его упрочнения рекомендовано применение операции - поверхностного пластического деформирования. Разработано приспособление – ролик обкатчик, который монтируется на установке и обработка производится совместно с нанесением покрытия;
- изучены и предварительно оценены основные технологические параметры ППД, определяющие качество покрытия при которых обеспечивается достаточная прочность сцепления нанесенного покрытия с основой.

Полученные данные будут использованы при разработке технологического процесса восстановления длинномерных деталей на предприятиях машиностроительной отрасли и технического сервиса.

Литература

1. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов: //Сб. науч. тр. под ред. Германа Г. - М.: Металлургия, 1986.– 375с.
2. Лазаренко Н.И., Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Электронная обработка материалов. – 1977. - №3. - С.12-16.
3. Grant N.J. Rapid solidification of metallic particulates // Journal of metals – 1983.–V.35. - №1. - P.20–27.
4. Электроискровое легирование металлических поверхностей. / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196с
5. Современные методы, упрочнения поверхности деталей прокатного оборудования. / Скобло Т.С., Рудюк С.И., Шапаренко А.В. и др. // Черная металлургия. – 1988. - №16. - С.2–15.
6. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. Исследование влияния химического состава анода на величину и качество слоя, восстановленного электроискровым методом. // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: - Харьков: ХГТУСХ, 1997. – С.75-81.
7. Электроискровое легирование металлических поверхностей. / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. - Кишинев: Штиинца, 1985. - 196с
8. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ / Безуглый Г.З., Галацан В.Н., Палей В.А. и др. - М.: Энергоиздат, 1982. - 272с.
9. Паровые и газовые турбины. / Трубило М.А., Арсеньев Г.В., Фролов В.В. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 351с.
10. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. - Изд. 13-е. - М.: Энергия, 1977. - 288с.