

Наименование детали	Материал	Нормальный диаметр, мм	Твердость серийной детали, НРС	Диаметр, мм		Толщина покрытия, мм		Твердость покрытия, МПа	Диаметр после шлифования, мм
				до восстановления	после восстановления	шлифования	после шлифования		
Плунжер топливного насоса	ХВГ	9,00 \pm 0,01	60,00	8,980	9,020	0,04	0,020	10000	9,00
Поршневой палец	12ХНЗА	45,00 \pm 0,05	44,80	45,100	0,30	0,20	10000	6500	45,00
Толкатель клапана	Сталь 20	22,00 \pm 0,02	56,00	21,800	22,10	0,30	0,20	10000	22,00

Таблица 2

Износ, мм															
плунжера			серийной втулки в паре с плунжером			поршневого пальца			втулки шатуна в паре с пальцем			толкателя штанги клапана			гнездо толкателя
хромированного	покрытого хром-кобальтом	серийного	хромированного	покрытого хром-кобальтом	серийным	хромированного	покрытого хром-кобальтом	серийного	хромированного	покрытого хром-кобальтом	серийного	хромированного	покрытого хром-кобальтом	серийного	
0,012	0,011	0,016	0,008	0,006	0,009	0,016	0,014	0,018	0,010	0,008	0,012	0,014	0,012	0,016	0,010

ных испытаний были восстановлены хромом и хром-кобальтом плунжеры топливного насоса, поршневые пальцы и толкатели двигателя автомобиля КамАЗ-5410. Характеристики восстановленных деталей приведены в табл. 1.

После пробега 50 тыс. км провели микрометраж их износа. Результаты приведены в табл. 2.

Как следует, износостойкость

деталей, восстановленных хромовыми и хром-кобальтовыми покрытиями, в 1,5 раза выше, чем серийных, а при работе серийных в соприжении с хромированными — на 10,0...17,5 %.

По вопросам внедрения технологии восстановления деталей гальваническим покрытием обращаться в ГОСНИТИ и МГАУ им. В. П. Горячкина: тел. 977-24-00.

для исследования особенностей изнашивания и определения эффективной технологии восстановления использовали валы после шлифования в период P_2 с твердостью шеек на глубине до 3,5 мм — 237 НВ, 4,0...5,0 мм — 249 НВ. Анализ микроструктуры выявил во всех зонах пористость как в виде локальных скоплений (на глубине 3,5...5,0 мм), так и в виде "цепочек" вблизи поверхности (на глубине 120...350 мкм). Одновременно в этом слое обнаружено значительное количество сульфидных включений (MnS), форма которых близка к сферической. У поверхности трения на границе с металлической матрицей выделяются включения точечного графита без скоплений. Это вероятно связано с развитием локальных напряжений вблизи фаз, отличающихся коэффициентом линейного расширения при нагреве. Структура чугуна включает графит, преимущественно шаровидный, феррит и перлит.

Включения шаровидного графита более мелкие у поверхности трения (максимальные не более 60 мкм), а общее их количество составляет около 7,0 %, что связано с большей скоростью кристаллизации отливки. На глубине 3,5...5,0 мм максимальный размер шаровидных включений 70 мкм, имеются компактные включения и близкие по форме к пластинчатым. Доля графита в этой зоне не превышает 5 %. Наблюдае-

УДК 621.79.1.927.55:621.824.32.004.67

Плазменная наплавка чугунных коленчатых валов

А.В. НОВИКОВ, П.С. СЫРОМЯТНИКОВ, инженеры
Т.С. СКОБЛО, доктор технических наук А.И. СИДАШЕНКО,
кандидат технических наук
Харьковский ГТУСХ

Коленчатые валы двигателей изготавливают из высокопрочных чугунов, чаще всего ВЧ50-2 и ВЧ60-2. Как правило, такие чугуны модифицируют в ковше ферросилицием, порошкообразным магнием, силикокальцием. Это обеспечивает уменьшение доли неметаллических включений и формирование шаровидного и компактного графита. Для получения однородной перлитной структуры валы подвергают термической обработке — нормализации. До нее твердость чугуна составляет 220...300 НВ, после — 240...280 НВ.

Для изучения особенностей изнашивания были выбраны новые коленчатые валы и поступившие в ремонт. Анализ валов, поступивших в ремонт, показал, что распределение вероятности перехода с одного ремонтного размера на другой следующая: P_1 — 50 % (первый), P_2 — 40 % (второй) и P_3 — 10 % (третий). Как правило, для таких коленчатых валов не используют четвертый ремонтный размер. Это объясняется тем, что за периоды эксплуатации после P_1 и P_2 в них накапливаются значительные усталостные повреждения. Поэтому

Параметры наплавки						Твердость HB (HRC) на глубине, мм			
Ток дуги, А	Расход порошка, г/мин	Скорость наплавки, мм/мин	Угол наклона плазмотрона, град	Дуговой промежуток, мм	Расход защитного газа, л/мин	до 3	3,5	4,0	4,5
220...250	40...50	3...4	30...35	10...11	5.6	515...550 (55...58)	32 (37)	300 (32)	284 (31)

Примечание: наплавленный слой на основе железа содержит по массе 1,6 % Mn, 0,4 % V, 2,4 % Ni, 1,2 % Cu, 0,6 % Mo.

мое увеличение количества графита связано с появлением точечных выделений за счет развития процесса графитизации при трении. Увеличение доли графита в поверхностных слоях, его равномерное распределение способствует снижению коэффициента трения и повышению износостойкости.

Экспериментальные исследования по оценке влияния различных форм графита на прочность поверхности трения показали, что наличие точечного и компактного графита повышает как временное сопротивление разрыву (σ_B), так и изгибу $\sigma_{изг}$: $\sigma_B = 21,1 + 2,5\Gamma_{ш} + 1,4\Gamma_K - 1,8\Gamma_{пл}$, ($R=0,59$); $\sigma_{изг} = 32,9 - 1,6\Gamma_{ш} + 0,53\Gamma_K - 1,1\Gamma_{пл} + 2,0\Gamma_T$, ($R=0,40$);

где $\Gamma_{ш}$, Γ_K , $\Gamma_{пл}$, Γ_T — соответственно шаровидный, комплектный, пластинчатый и точечный графит.

Шаровидные включения графита влияют по-разному на σ_B и $\sigma_{изг}$, а пластинчатые снижают эти характеристики.

Сопоставляя травленные 4 %-ым раствором азотной кислоты в этиловом спирте образцы, взятые с поверхности трения и на глубине, установлено, что фазовый состав их одинаковый, однако доля феррита у поверхности трения на 3...5 % больше. Это вызвано развитием точечной графитизации и разложением зерен перлита "перистого" строения. Вблизи поверхности трения перлитная составляющая более плотная, дисперсная, что связано с наклепом. На глубине 3,5...5,0 мм она отличается большей разреженностью и повышенной плотностью лишь по границам эвтектических зерен. Ферритная составляющая располагается, как правило, вокруг графитовых включений. Таким образом, в процессе эксплуатации на поверхности трения валов происходит уплотнение металлической матрицы,

развивается процесс графитизации с увеличением доли точечного графита примерно на 28 %, что сопровождается незначительным падением твердости — около 9 % на глубине до 3,5 мм.

Основным методом восстановления чугунных коленчатых валов является их перешлифовка под ремонтный размер, но, в основном, до второго включительно. В связи с этим была изучена возможность восстановления валов плазменной наплавкой, которая обеспечила бы им дополнительный ресурс.

Исследовали в широких пределах влияние параметров наплавки: ток дуги — 200...270 А; расход порошка — 35...60 г/мин; скорость наплавки — 2,8...4,5 мм/мин; угол наклона плазмотрона — 25...40 °С, дуговой промежуток — 9...12 мм, расход защитного газа — 4,5...7,0 л/мин. Наплавочный порошок смешивали порциями в различных соотношениях компонентов.

Оптимальные режимные параметры плазменной наплавки, обеспечивающие валам требуемую твердость, сведены в таблицу.

Наплавленный слой отличается достаточной плотностью. В переходной зоне не выявлено грубых трещин и надрывов, она характеризуется высокой твердостью и по сечению колеблется от 332 до 515 HB (37,0...55 HRC). В наплавленном же слое твердость более однородная и изменяется по глубине от 530 до 550 HB (56...58 HRC). Характер распределения твердости определяется формируемой структурой.

В наплавленном слое и в переходной зоне наблюдаются отдельные шаровидные и точечные включения графита. Максимальный их размер в переходной зоне — 30 мкм, в наплавленной — не более 10 мкм.

Травление обычным способом выявило четкую границу между пе-

реходной зоной и основным металлом, а тепловое позволило определить структуру наплавленного. Последняя имеет однородное тонкое дендритное строение и игольчатую ориентацию продуктов распада аустенита. Наиболее интересна структура металла в переходной зоне. Благодаря высокой концентрации углерода в чугуне (более 2,8 %) на границе сплавления формируется различная комбинация фаз, создавая дендритную структуру с большой гетерогенностью: в осях дендритов — продукты распада аустенита (перлит), а в междендритных пространствах — пластинчатые выделения феррита (основная фаза) и цементита, что обеспечивает лучшую демпфирующую способность, чем в случае кристаллизации сотового ледебурита, разобщенные мелкие перлитные зерна, ферритные включения в виде оболочки вокруг мелкого графита. Такое различие фаз повышает твердость в широких пределах, максимальная — 513 HB на участках, где кристаллизуется смесь пластинчатых фаз.

Таким образом, наплавка коленчатых валов по рекомендуемому режиму с предварительным подогревом в течении 60...90 мин при $t=450^\circ\text{C}$ обеспечивает получение качественного слоя с минимальным уровнем напряжений.

Испытания на износ были проведены на машине трения МИ-1 с нагрузкой 150 Н. Абразивным материалом служил электрокорунд с размером гранул 80...100 мкм, добавленный в количестве 5 % в масло М-10Г1. Потеря массы не превышала $1,49 \times 10^{-3}$ г/с в период стабильного трения (устоявшийся износ).

Восстановление валов плазменной наплавкой позволяет на 70 % увеличить их долговечность. Эти результаты подтверждены эксплуатационными испытаниями.