



## ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЛАВЛЕННЫХ ЧУГУННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ

С. Ю. КРИВЧИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведена оценка влияния режимов термообработки на триботехнические характеристики рабочих сопряжений наплавленных коленчатых валов, работающих в условиях трения металла по металлу со смазкой. Показано, что температура отпуска оказывает влияние на количественное соотношение между перлитной и карбидно-цементитной фазами в структуре наплавленного металла и его износостойкость.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, наплавленный металл, структура и твердость, триботехнические характеристики, термическая обработка

Коленчатый вал — наиболее нагруженная деталь двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Основными нагрузками, определяющими его рабочий ресурс, являются высокое контактное давление в трущихся сопряжениях и большое количество циклов знакопеременных нагружений. Это приводит к неравномерному износу и перекосам рабочих поверхностей, нарушению масляной пленки и созданию условий для сухого и граничного трения. В результате может происходить «схватывание» и выплавление вкладышей, сопряженных с наплавленными шейками коленчатого вала.

В ремонтном производстве для восстановления изношенных чугунных коленчатых валов ДВС широко применяется технология широкослойной наплавки самозащитной порошковой проволокой ПП-АН160 [1]. Наплавленный металл представляет собой износостойкий высокоуглеродистый сплав, основной металл коленчатого вала — чугун марки ВЧ 50-2 (ЧШГ), закаленный на перлитную структуру. Химический состав основного и наплавленного металлов приведен в табл. 1.

Опыт эксплуатации и ремонта ДВС с наплавленными коленчатыми валами показывает, что износостойкость наплавленных шеек превышает износостойкость основного металла, однако изнашивание сопряженного с наплавленной шейкой вкладыша происходит интенсивнее, чем наплавленного металла.

Целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование влияния термообработки наплавленного металла на триботехнические характеристики рабочих сопряжений коленчатых валов.

Испытания пар трения-скольжения со смазкой проводили на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик-колодка» в соответствии с ГОСТ 23224–86. Колодками служили сегменты из стандартных автомобильных вкладышей АО 20-1. Для изготовления роликов (рис. 1) использовали заготовки из ЧШГ, цилиндрическую поверхность которых наплавливали порошковой проволокой ПП-АН160, подвергали термической обработке, а затем шлифовали до номинальных размеров. Термообработку проводили на следующем режиме: нагрев в печи до заданной температуры, выдержка при этой температуре в течение 2 ч и охлаждение на спокойном воздухе.

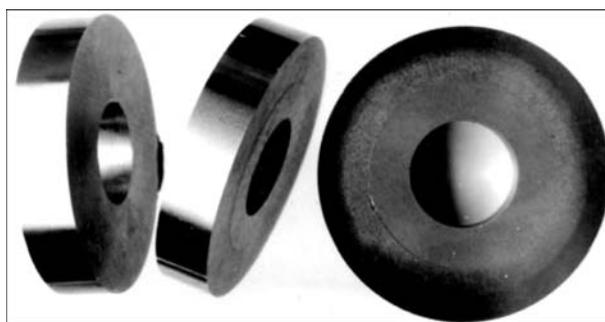


Рис. 1. Ролики для определения триботехнических характеристик пар трения-скольжения: наружный диаметр 50 мм, толщина 12 мм

Таблица 1. Химический состав наплавленного и основного металлов, мас. %

Исследуемый сплав	C	Cr	Si	Mn	Ti	Al	B	Mg
Наплавленный металл	2,4	0,3	1,8	0,8	0,3	0,5	0,08	—
Основной металл (ЧШГ)	2,8	0,2	2,1	1,3	—	—	—	0,03

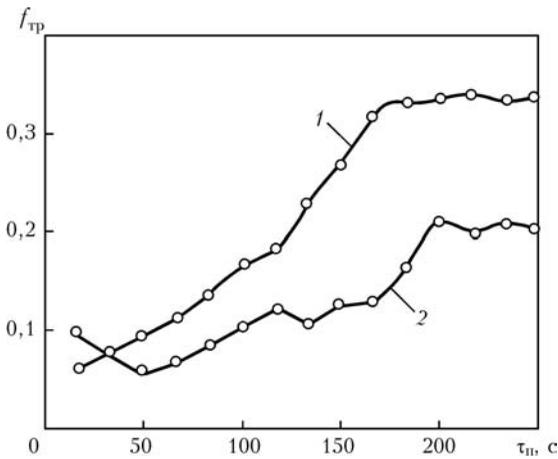


Рис. 2. Изменение коэффициента трения от времени приработки сопряжений «основной металл — вкладыш» (кривая 1) и «наплавленный металл — вкладыш» после термообработки при  $T_{отп} = 520...550\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2) при  $v_{ск} = 0,8\text{ м/с}$

Испытания пар трения проводили в два этапа: в режиме приработки и при рабочей нагрузке. Оптимальную рабочую нагрузку  $P_{оп}$  выбирали на основании предварительных экспериментов, показавших, что ее превышение может привести к «заеданию» сопряжения. Суммарную интенсивность изнашивания сопряжения в целом  $I_{\Sigma}$  определяли как сумму интенсивностей изнашивания вкладыша  $I_{к}$  и ролика  $I_{р}$  (методика определения этих величин приведена в ГОСТ 23.224–86). Кроме того, в процессе испытаний проводили запись изменения коэффициента трения сопряжения  $f_{тр}$  (рис. 2) и температуры фрикционного разогрева масла  $T_{тр}$ . Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют о том, что термическая обработка оказывает существенное влияние на триботехнические характеристики как наплавленного металла и вкладыша, так и сопряжения в целом. Из сравнения интенсивностей изнашивания сопряжений № 1 и 2 видно, что износостойкость наплавленного металла превышает износостойкость основного, но интенсивность изнашивания вкладыша  $I_{к}$  у сопряжения № 2 в 2,2 раза выше, чем у сопряжения № 1. По другим показателям износостойкости и работоспособности пара трения

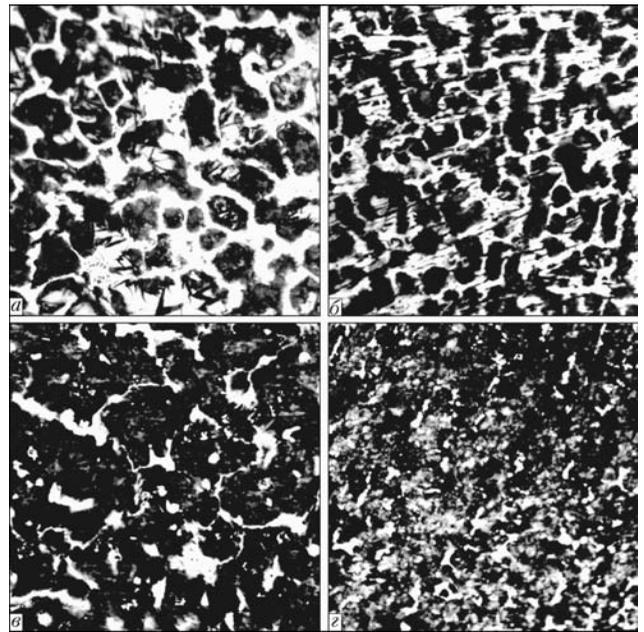


Рис. 3. Влияние термообработки на структуру наплавленного металла ( $\times 320$ ): а — без термообработки; б-г — при  $T_{отп} = 400...420, 520...550$  и  $700...750\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно

ЧШГ — вкладыш также превосходит сопряжение наплавленный металл — вкладыш.

После термообработки при  $T_{отп} = 400...420\text{ }^{\circ}\text{C}$  триботехнические свойства сопряжения № 2 незначительно улучшаются: значения  $I_{к}$ ,  $I_{\Sigma}$ ,  $f_{тр}$  и  $T_{тр}$  уменьшаются, а  $P_{оп}$  возрастает. С повышением  $T_{отп}$  до  $520...550\text{ }^{\circ}\text{C}$  перечисленные показатели претерпевают существенные изменения и достигают значений, при которых сопряжение № 2 по всем триботехническим характеристикам превосходит сопряжение № 1. Дальнейшее повышение  $T_{отп}$  приводит к значительному ухудшению износостойкости наплавленного металла и работоспособности сопряжения в целом.

Для выявления причин изменения триботехнических свойств сопряжений при термообработке наплавленного металла были проведены металлографические исследования. Следует отметить, что детальный анализ структурно-фазового состояния многокомпонентного сплава, кристаллизация которого происходила в неравновесных

Таблица 2. Триботехнические характеристики пар трения-скольжения

№ сопряжения	Тип сопряжения	Показатели работоспособности		Интенсивность изнашивания, мм/м · 10 <sup>-4</sup>			$f_{тр} \cdot 10^{-2}$
		$P_{оп}$ , МПа	$T_{тр}$ , °C	$I_{р}$	$I_{к}$	$I_{\Sigma}$	
1	Основной металл ЧШГ — вкладыш	16,0	60	0,29	0,12	0,41	35
2	Наплавленный металл — вкладыш						
	без термообработки	11,0	72	0,24	0,26	0,50	45
	после термообработки при $T$ , °C:						
	400...420	11,6	68	0,24	0,24	0,48	42
	520...550	14,0	50	0,22	0,12	0,34	20
650...700	9,5	80	0,49	0,10	0,59	68	

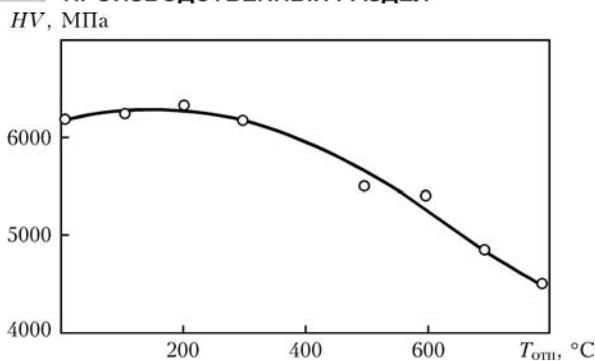


Рис. 4. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла

условиях, весьма трудоемкая задача. Однако с достаточной степенью точности установлено, что структура наплавленного металла состоит из двух ведущих фаз: продуктов распада аустенита (перлит + остаточный аустенит) и карбидно-цементитной фазы. Последняя в плоскости шлифа имеет вид разветвленной армирующей сетки с разнотолщинными участками. На рис. 3 эта фаза окрашена в белый цвет, а перлитно-аустенитная — в темный, что дало возможность провести оценку их количественного соотношения.

Установлено, что с повышением температуры отпуска карбидно-цементитная сетка сначала утончается, затем становится разорванной и, наконец, распадается на отдельные включения цементита. В исходном состоянии (без термообработки) наплавленный металл содержит 40...46 % «белой» (карбидно-цементитной) фазы твердостью  $HV 0,5$  — 8000...8200 МПа. Микротвердость зерен твердого раствора («темная фаза») составляет  $HV 0,5$  — 5800...6200 МПа. В результате термической

обработки при температурах 520...550, 650...700 и 800 °C доля карбидно-цементитной фазы составляет 28...33, 21...25 и 8...12 % соответственно, а ее твердость остается неизменной.

С увеличением  $T_{отп}$  микротвердость перлита монотонно убывает от  $HV 0,5$  — 5200...5400 (при  $T_{отп} = 400$  °C) до  $HV 0,5$  — 4200...4400 (при  $T_{отп} = 800$  °C), что связано с частичным распадом вторичного цементита на железо и графит при нагреве [2]. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла представлено на рис. 4. Падение твердости с повышением температуры очевидно обусловлено уменьшением доли твердой карбидно-цементитной фазы в наплавленном металле.

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что повысить триботехнические характеристики сопряжения № 2 можно путем термической обработки наплавленного металла при  $T_{отп} = 520...550$  °C. Увеличение или уменьшение температуры сопровождается ухудшением параметров работоспособности пары трения. При этом максимальная износостойкость как наплавленного металла, так и сопряженного с ним вкладыша обеспечивается путем достижения оптимального количественного соотношения между двумя основными фазами его структуры.

1. Кривчиков С. Ю., Жудра А. П., Петров В. В. Современные технологии дуговой наплавки коленчатых валов // Свароч. пр-во. — 1994. — № 5. — С. 4–6.
2. Жудра А. П., Кривчиков С. Ю., Петров В. В. Влияние кремния на свойства углеродистого низколегированного наплавленного металла // Автомат. сварка. — 2006. — № 8. — С. 49–51.

The influence of heat treatment modes on tribotechnical characteristics of working mating surfaces of hardfaced operating under the conditions of metal friction against metal with lubrication was assessed. It is shown that the tempering temperature influences the quantitative relationship between pearlite and carbide-cementite phases in the deposited metal structure and its wear resistance.

Поступила в редакцию 02.06.2008