

УДК 621.793.74:621.791.927.55

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ
ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА В ПРОЦЕССЕ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов (ВГЛТА)

При восстановлении поверхностей изношенных шеек коленчатых валов автомобильных двигателей широко используется метод плазменного напыления покрытий. Однако, покрытия, наносимые этим методом, имеют недостаточную прочность сцепления с основой при высоких знакопеременных нагрузках, структурную неоднородность, высокие остаточные растягивающие напряжения, приводящие к их растрескиванию.

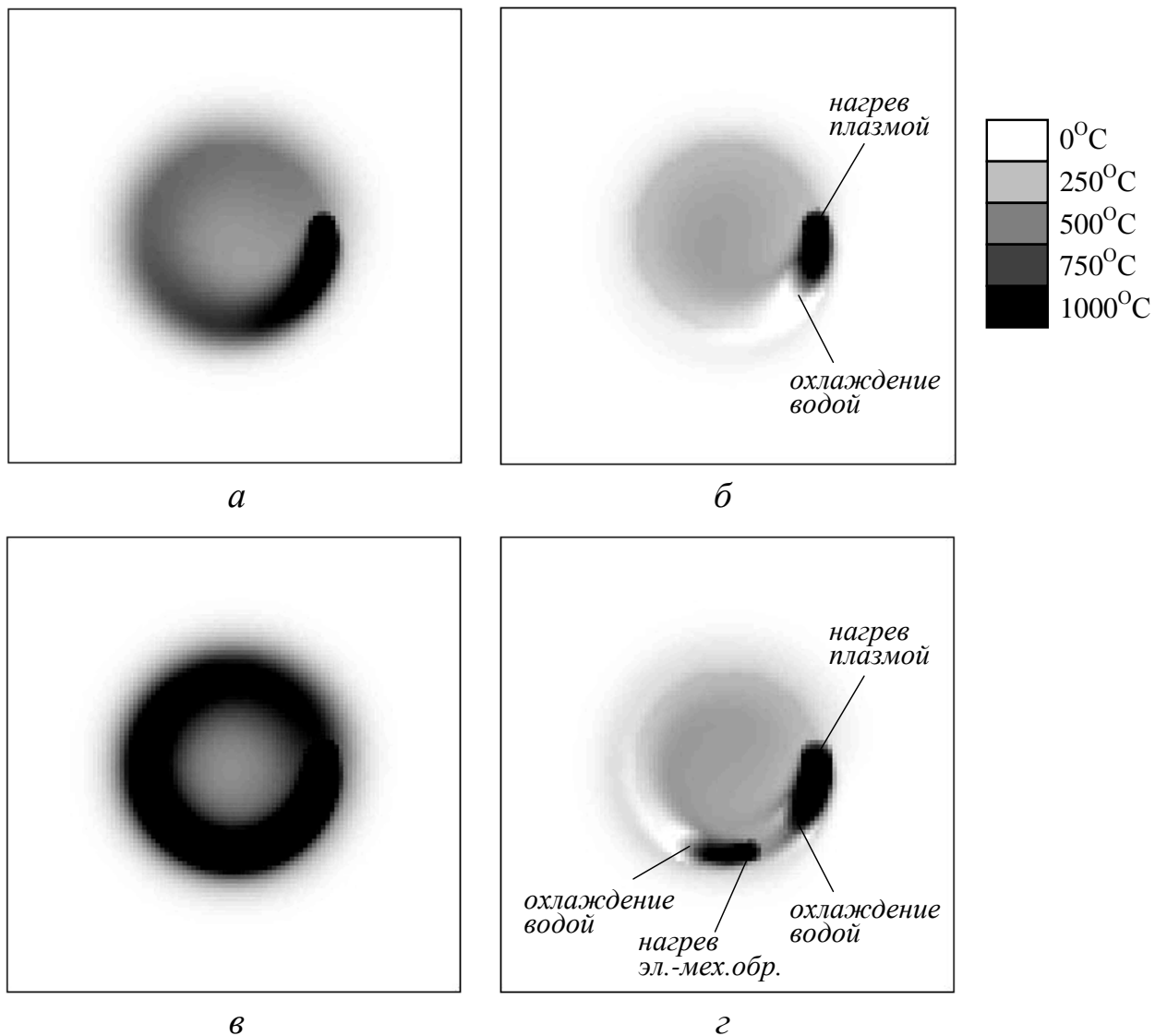
Предложен новый способ для восстановления шеек коленчатых валов, позволяющий объединить в одном процессе две технологические операции – плазменного напыления и электромеханической обработки. Это позволит устранить недостатки, характерные при выполнении каждой операции в отдельности и обеспечит синергетический эффект при их объединении [1-3].

Для теоретической проработки тепловых процессов протекающих при восстановлении шеек коленчатых валов автомобильных двигателей плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой ранее авторами была разработана математическая модель, и на ее основе выполнено имитационное моделирование.

С помощью разработанной модели были проведены следующие пять компьютерных экспериментов для имитации основных вариантов охлаждения при плазменном напылении (рис. 1): плазменное нанесение покрытия без электромеханической обработки и без охлаждения (диаграмма распределения температуры приведена на рисунке 1, *а*); плазменное нанесение покрытия без электромеханической обработки и с охлаждением струей воды (рис. 1, *б*); плазменное нанесение покрытия с электромеханической обработкой и без охлаждения (рис. 1, *в*); плазменное нанесение покрытия с электромеханической обработкой и с охлаждением струями воды как после прохода пятна плазменного осаждения, так и после прохода обкатывающего ролика (рис. 1, *г*); плазменное нанесение покрытия с электромеханической обработкой и с охлаждением струей воды после прохода пятна плазмотрона [4].

На диаграммах распределения температуры (рис. 1) уровень затемнения

пропорционален температуре (по шкале Цельсия). Параметры компьютерной модели были близки к следующим реальным параметрам процесса нанесения покрытия: подложка – сталь; порошок ПГСП-4; диаметр частицы порошка (элемента модели) 10 мкм; эффективный радиус ролика 10 мм; характерная толщина одного слоя покрытия 50 мкм; скорость перемещения плазмотрона и ролика относительно поверхности 1 см/с; расход порошка 10 мг/с; характерное давление ролика 50-70 МПа.



а, в – без водяного охлаждения; *б, г* – с охлаждением вала одной или двумя водяными струями; *а, б* – без электромеханической обработки; *в, г* – с электромеханической обработкой

Рисунок 1 – Диаграммы распределения температуры в поперечном сечении коленчатого вала для случаев плазменного напыления

В случае отсутствия охлаждения деталь, и особенно ее поверхность, нагревается до высоких температур, около 600 °С (рис. 1, а, в). При этом охлаждение детали после нанесения покрытия может привести к растрескиванию и отслаиванию покрытия. Если же после прохода пятна плазмы по этой же линии направляется струя воды под высоким давлением, деталь в целом незначительно нагревается, а поверхность нагревается еще меньше, остывая после контакта с жидкостью до довольно низкой температуры около 200 °С (рис. 1, б). Использование при сопутствующей электромеханической обработке двух струй воды (за пятном плазмы и за пятном контакта с роликом) также эффективно охлаждает поверхность детали до температур порядка 150 °С (рис. 1, г).

Для количественного анализа распределения температуры в детали построены серии профилей температуры (рис. 2-4).

Анализируя случаи нанесения покрытия без дополнительной электромеханической обработки (кривые 1 и 2 на рис. 2-4, а), можно сделать вывод, что охлаждение струей воды приводит к снижению средней температуры поверхности детали вдоль линии движения плазмотрона на 50-200 °С.

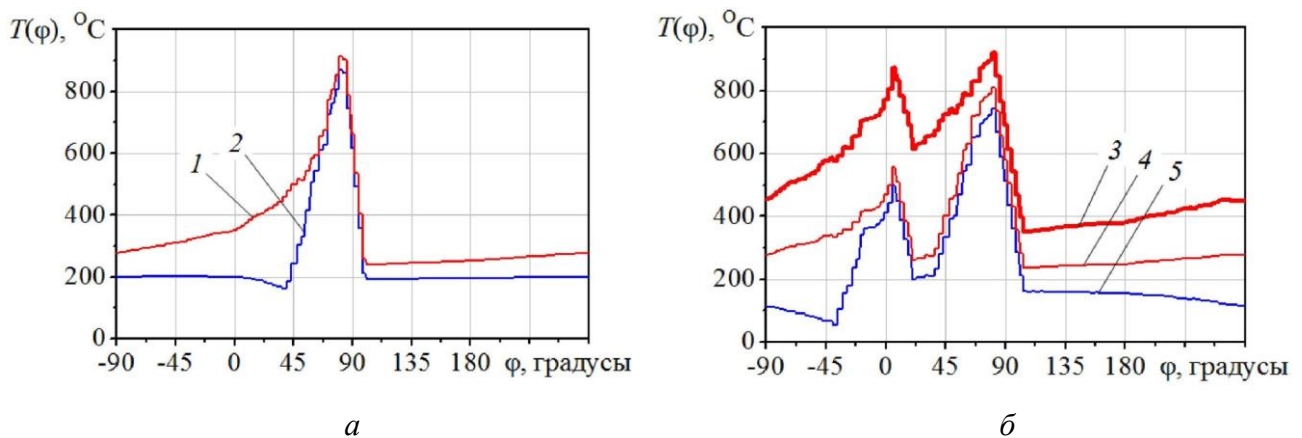


Рисунок 2 – Угловое распределение температуры по поверхности вала при плазменном нанесении покрытия без – а и с дополнительной электромеханической обработкой – б

В случае проведения дополнительной электромеханической обработки с пропуском значительных токов, нагрев детали существенно увеличивается. В случае отсутствия водяного охлаждения средняя температура поверхности при электромеханической обработке приблизительно на 200 °С выше, чем в случае отсутствия таковой. В то же время, использование двух струй водяного охлаждения (как после прохода плазмотрона, так и после прохода обкатывающего ролика), позволяет поддерживать среднюю температуру детали на прием-

лемом уровне (около 150 °С). Такая довольно низкая средняя температура покрытия не приводит к образованию существенных внутренних напряжений в окончательно сформированном покрытии. Поэтому в данном случае вероятность отслоения и растрескивания покрытия гораздо ниже, чем в случае отсутствия одного или двух этапов охлаждения.

Анализируя кривую, изображенные на рисунке 2 можно прийти к выводу, что каждая струя водяного охлаждения приводит к снижению средней температуры вдоль линии движения плазмотрона приблизительно на 150-200 °С.

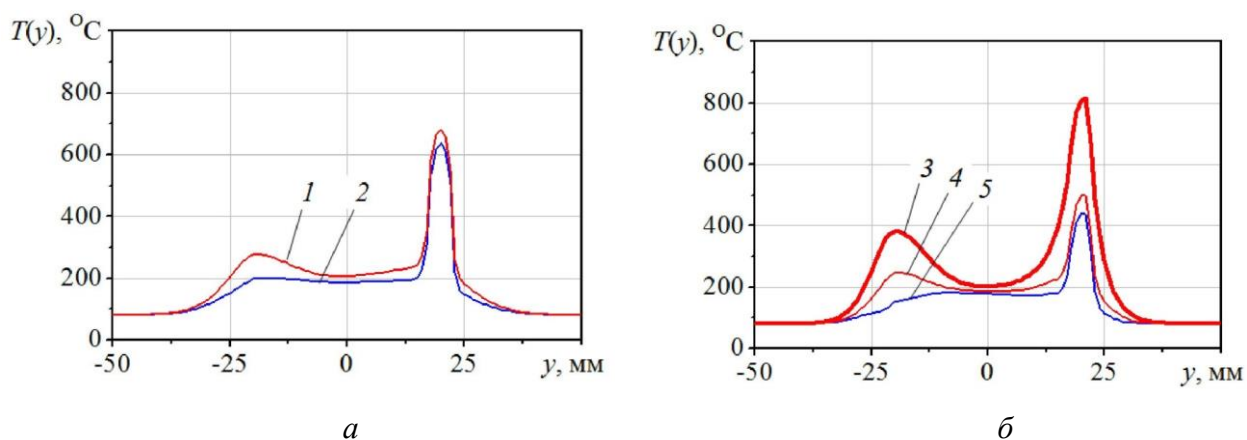


Рисунок 3 – Распределение температуры в поперечном сечении вала (в области "пятна нагрева плазмой") при плазменном нанесении покрытия без – а и с дополнительной электромеханической обработкой – б

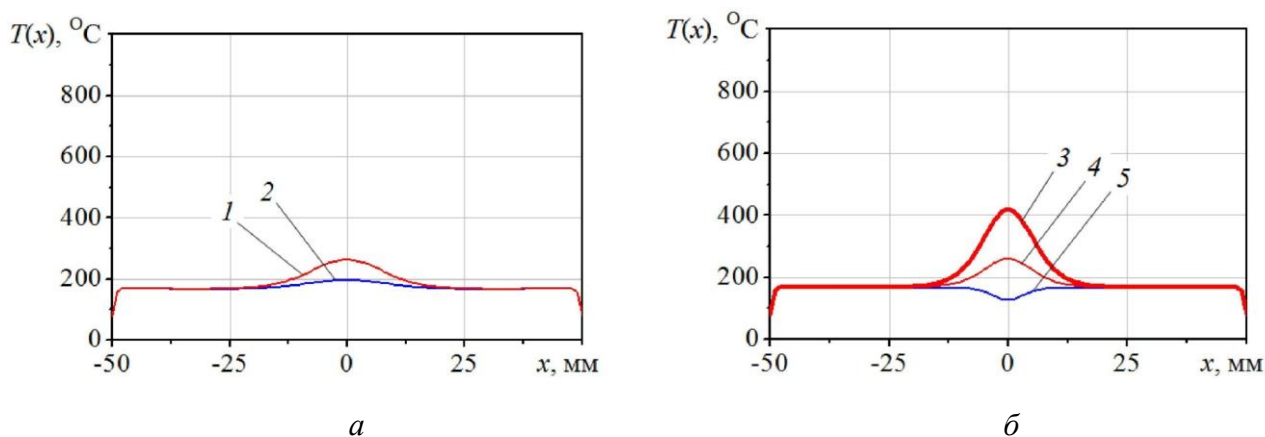


Рисунок 4 – Распределение температуры на поверхности вала в продольном направлении (с обратной стороны от пятна плазмотрона) при плазменном нанесении покрытия без – а и с дополнительной электромеханической обработкой – б

Таким образом, водяное охлаждение существенно понижает температуру поверхности детали, что способствует образованию более прочного покрытия

благодаря уменьшению внутренних напряжений в покрытии. В случае использования дополнительной электромеханической обработки поверхности целесообразно использовать две водяные струи охлаждения: после прохода плазмотрона и после прохода обкатывающего ролика [5-7].

Приведенные выше результаты исследования выполнены для детали простейшей геометрической формы (цилиндрического вала). В то же время, реальные детали, для которых производится восстановление поверхности, имеют сложную геометрическую форму. Для примера в модели воспроизведена форма коленчатого вала двигателя автомобиля «КАМАЗ» (рис. 5).

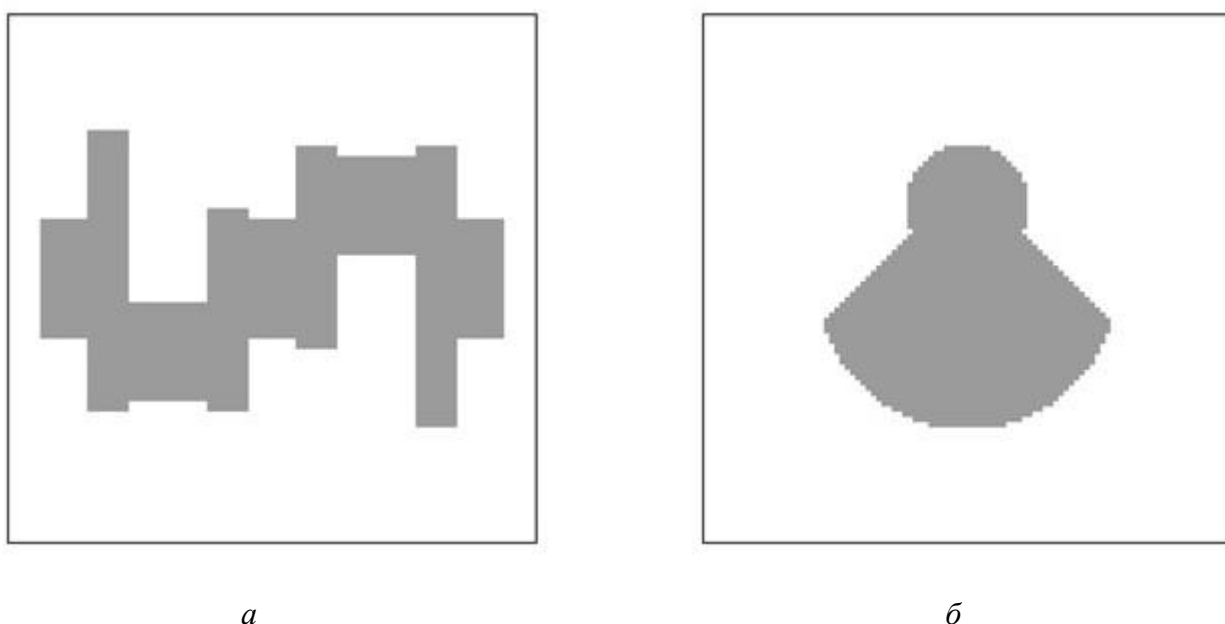


Рисунок 5 – Представление в модели исследуемой части коленчатого вала автомобиля «КАМАЗ»: *a* – вид сбоку; *б* – вид спереди

Для большей фокусировки исследования коленчатый вал в модели представлен не полностью, а лишь центральная его часть (три коренные шейки, две шатунные шейки, два перехода, два балансира).

Были проведены две серии компьютерных экспериментов по распространению тепла в коленчатом вале, при которых воспроизводилось нанесение покрытия на поверхность центральной коренной шейки (рис. 6, 7).

Обнаружено, что в случае отсутствия водяного охлаждения (рис. 6) вся центральная часть детали быстро нагревается (в течение 10-20 с) до температуры, соизмеримой с температурой плавления металла. Это может привести к неблагоприятным деформациям коленчатого вала, ненадежному соединению покрытия с деталью.

Однако, если производится струйное охлаждение, как после прохода пятна плазмотрона, так и после прикатывающего ролика электромеханической обработки (рис. 7), нагреваются до высоких температур только локальные участки детали. Температура этих участков поверхности и должна быть близкой к температуре плавления металла, что обеспечивает эффективную модификацию поверхности.

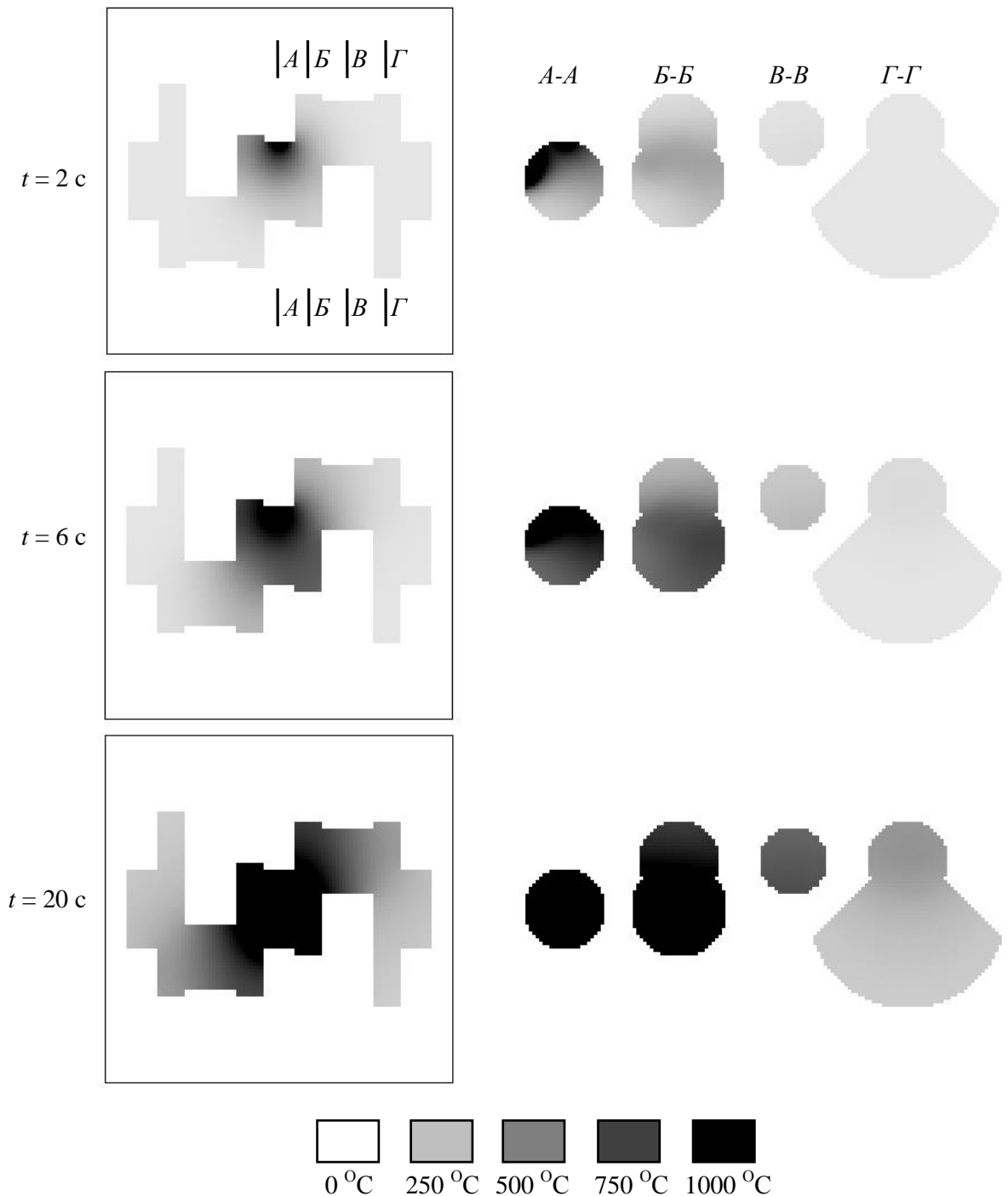


Рисунок 6 – Распространение температуры в колеччатом вале при восстановлении покрытия комбинированным методом в случае отсутствия жидкостного охлаждения

В то же время, поверхность той же коренной шейки вне пятен нагрева, хоть и имеет повышенную температуру (50-200 °С), однако ее значения существенно ниже температуры структурных изменений металла. Объем детали также существенно не нагревается.

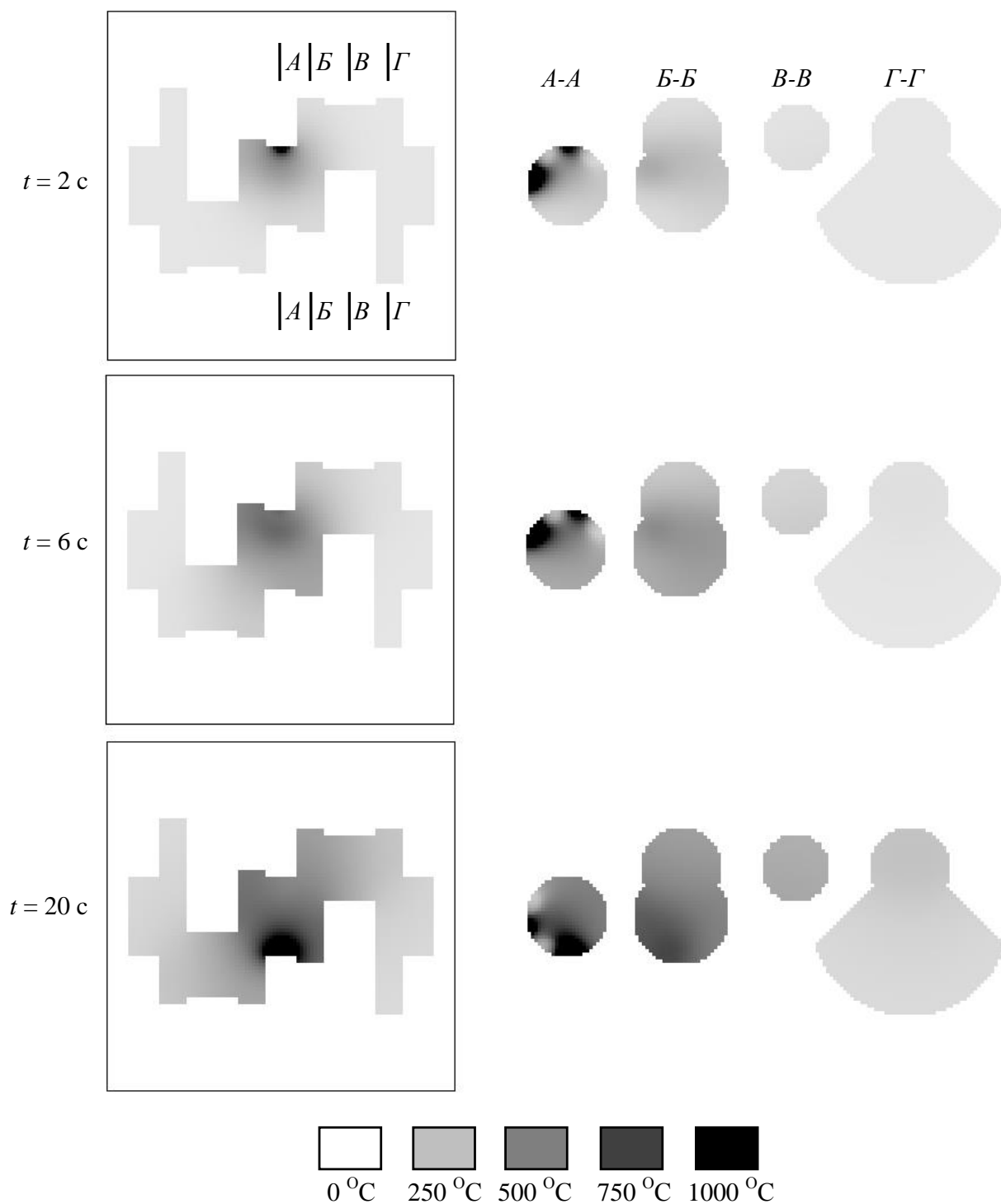


Рисунок 7 – Распространение температуры в колечатом вале при восстановлении покрытия комбинированным методом при использовании струйного охлаждения как после пятна плазмы, так и после прокатки роликом

Температура быстро повышается до такого уровня, когда ее величина еще далека от температуры плавления металла, однако достаточно высока, чтобы обеспечивался эффективный теплоотвод (скорость отвода тепла пропорциональна разности температур поверхности и охлаждающей жидкости).

Таким образом, имитационное моделирование процесса распространения тепла в коленчатом вале позволило с помощью компьютерных экспериментов исследовать и оценить эффективность пяти возможных вариантов охлаждения при плазменном нанесении покрытия. При этом установлено, что водяное охлаждение существенно понижает температуру поверхности шеек, что способствует образованию более прочного покрытия вследствие уменьшения внутренних напряжений в покрытии. При новом комбинированном способе нанесения покрытия на шейки коленчатого вала целесообразно использовать две водяные струи охлаждения – после прохода плазматрона и обкатывающего ролика.

Библиографический список

1 Никонов, В. О. Разработка способа восстановления деталей машин плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой [Текст] / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, А. Ф. Мальцев // Проблемы науки, техники и образования в современном мире : сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 30 ноября 2012 г. Липецк, Липецкая областная общественная организация Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, 2012. – С. 121-122.

2 Пат. 2480533 РФ, МПК С23С4/18, В24В39/06, В23Н9/00. Способ комбинированного упрочнения поверхностей деталей [Текст] / А. М. Кадырметов, Г. А. Сухочев, В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, А. Ф. Мальцев ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Доступная робототехника» – № 2011140996/02 ; заявл. 11.10.2011 ; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. – 8 с.

3 Посметьев, В. И. Управление качеством плазменных покрытий деталей машин на основе модуляции параметров плазматрона и электромеханической обработки [Текст] / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, А. Ф. Мальцев // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4 (35). – С. 23-29.

4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования тепловых процессов в деталях машин при комбиниро-

ванном способе нанесения покрытий [Текст] / А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Посметьев ; правообладатель ФГБОУ ВПО ВГЛТА. – № 2013615740 ; заявл. 24.04.2013 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.06.2013.

5 Кадырметов, А. М. Компьютерное моделирование распространения тепла в детали в комбинированном процессе плазменного напыления и упрочнения покрытия / А. М. Кадырметов, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2013 – № 04 (88).

6 Посметьев, В. И. Результаты имитационного моделирования упрочнения поверхностей деталей автомобилей комбинированным способом [Текст] / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов // Воронежский научно-технический вестник – 2013. – № 2 (4) – С. 66-74.

7 Посметьев, В. И. Свойства покрытий, упрочненных плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой [Текст] / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, А. С. Пустовалов // Воронежский научно-технический вестник – 2013. – № 1 (3) – С. 34-41.