

УДК 631.3.004.67

Тойгамбаев С.К., кандидат технических наук, профессор
*Российский государственный аграрный университет – МСХА
им. К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация*
Нукушев С.О., доктор технических наук, профессор
*АО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина»,
г. Астана, Республика Казахстан*

РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ

***Аннотация.** Разработано множество методов и технологий восстановления изношенных деталей, но в большинстве случаев они не используются в ремонтном производстве. В статье предлагается довольно недорогой, но достаточно эффективный способ восстановления коленчатых валов применением газопламенной наплавки.*

Достоинством технологического процесса восстановления шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) газопламенной наплавкой является почти полное отсутствие изменения геометрии коленчатого вала вследствие малого прогрева, около 100 – 200⁰С, материала основы, сохранением ее структуры, а также возможность нанесения практически любых материалов и малая величина припуска на механическую обработку (рисунок 1).

Суть напыления – образование покрытия путем динамического осаждения на основном материале расплавленных капель, частиц напыленного материала, образующихся при нагреве порошка ацетилен кислородным источником нагрева. Данная технология использует в своей основе способ газопламенного напыления. Она довольно проста, а стоимость оборудования и затраты на эксплуатацию низкие. В связи с этим данный способ восстановления коленчатых валов находит широкое применение в ремонтном производстве. Перед газопламенным напылением коленчатого вала необходимо шлифовать шейки до выведения следов износа.

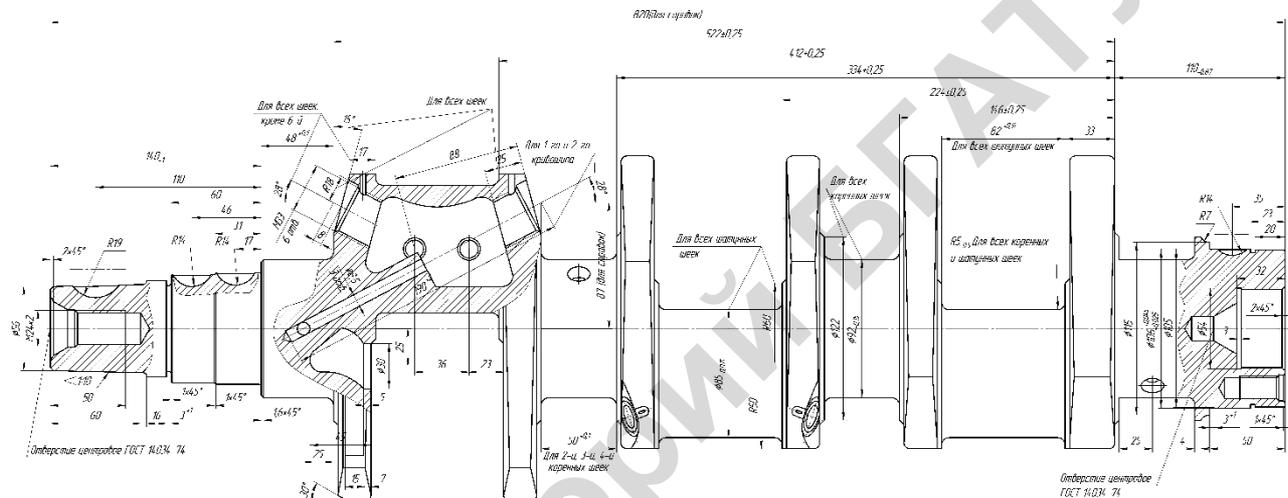


Рисунок 1 – Ремонтная схема коленчатого вала

Сущность способа восстановления заключается в следующем: в рабочую камеру пистолета для газопламенного напыления ОКС – 5521 подается под давлением смесь газов (ацетилен и кислород) и взвешенных частиц порошкового материала. Порошок подается в камеру при помощи инжекторного устройства. Продукты горения увлекают за собой частицы порошка, которые кроме кинетической энергии получают также тепловую энергию. Изношенная поверхность, находящаяся на пути потока частиц и газов, напыляется слоем материала.

Теоретически для полного сгорания ацетилена на его одну часть по массе необходимо 2,5 части по массе кислорода, однако на практике для напыления используют смесь при соотношении в смеси кислорода и ацетилена, равном 1,1. При сгорании смеси такого состава образуется нейтральное пламя, поскольку во время горения в него поступает дополнительный кислород из окружающего воздуха. На начальном участке факела (у выхода из сопла) газообразные продукты имеют восстановительный характер, а в середине, в связи с прониканием туда кислорода из окружающего воздуха, происходит полное сгорание ацетилена. Из-за высокой стоимости ацетилена можно применять смеси природного газа (пропан, пропан-бутан) с кислородом. При этом процесс восстановления становится экономичнее, но не решается вопрос формирования износостойких покрытий с высокой сцепляемостью с основанием восстанавливаемой детали, что связано с низким содержанием природного газа. На рисунке 2 дана зависимость прочности сцепления σ_{Π} от расстояния S при напылении и толщины покрытия δ_{Π} .

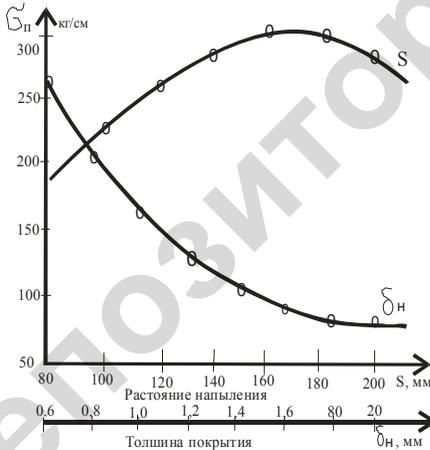


Рисунок 2 – Зависимость прочности сцепления σ_{Π} от расстояния S при напылении и толщины покрытия δ_{Π}

При напылении порошком за счет теплопередачи от поверхности частиц к их середине происходит его плавление. Предполагая, что частица порошка сферическая и температура ее поверхности мгновенно достигает температуры плавления, можно определить наибольший размер частиц, при котором происходит полное ее расплавление. Если допустить, что в струе, температура которой значительно пре-

вышает температуру плавления, частицы порошка находятся в течение 0,1 мс, то каждая частица оплавляется на глубину 90 % ее

радиуса, т.е. почти до ее середины. Это означает, что порошок расплавляется почти полностью. При этом размер частиц, напыляемых на поверхность детали, находится в пределах 85 – 105 мкм, который частиц зависит от теплофизических характеристик порошка, включая теплопроводность, теплоемкость и плотность напыляемого слоя. Чем больше размер частиц порошка, тем лучше протекает процесс напыления т.к. частицы при этом расплавляются не полностью, что ведет к получению пористого слоя напыляемого материала. Благодаря пористости, напыляемое покрытие имеет высокую износостойкость и обеспечиваются благоприятные условия периода пуска и работы сопряжения: шейка коленчатого вала – вкладыш при граничном режиме смазки. При изменении расстояния от 80 до 160 мм факел пламени длиной 150мм имеет максимальную температуру, которая изменяется от 33730К, на расстоянии от ядра факела 3 - 6 мм, до 1273 – 17730К в конце факела пламени. По всей длине факела пламени частицы нагреваются. Это ведет к значительному увеличению прочности сцепления. При малом расстоянии напыления частицы не нагреваются до температуры плавления и из-за этого плохо прилипают к металлооснове. То же происходит и при увеличении расстояния напыления свыше 160 мм т.к. частицы успевают остыть.

Следующим фактором, который влияет на качество напыляемого покрытия, является скорость. Порошковые материалы при движении в высокотемпературном потоке газа, истекающего с большой скоростью из грелок, напыляются на поверхность основного материала без изменения формы. При соударении напыляемых частиц с поверхностью основы, частицы спепляются с неровностями поверхности. Это возможно только при определенных скоростях и температуре капель и частиц. Максимальная скорость – 65 – 80 м/с на расстоянии 130 – 160 мм от сопла. С увеличением скорости увеличивается предел прочности поверхности восстанавливаемой детали (рисунки 3). Увеличение прочности поверхности происходит до определенного момента, а при дальнейшем увеличении скорости происходит падение прочности поверхности вследствие уменьшения пребывания частиц напыляемого материала в факеле. Оптимальными для газопламенного напыления являются скорости 40–50 м/с, что обеспечивает прочность восстанавливаемой поверхности $\sigma=18\text{МПа}$.

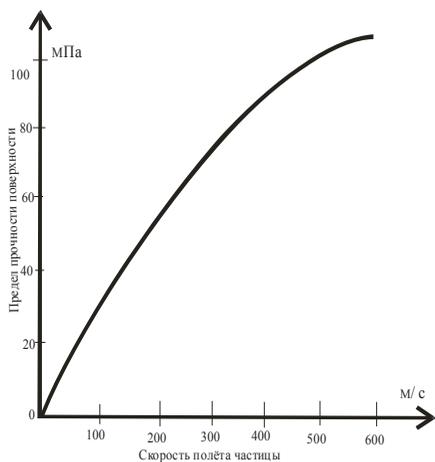


Рисунок 3 – Зависимость прочности восстанавливаемой поверхности от скорости полета частиц при газопламенном напылении

Для данного вида покрытий оптимальная величина напыляемого слоя равна 0,7мм, при этом прочность сцепления достигает максимального значения 25,4 МПа. При увеличении толщины напыляемого слоя до 1,8 мм прочность сцепления покрытия с основным материалом снижается в 3,34 раза, что обуславливается возникновением внутренних напряжений. При определенных условиях внутренние напряжения превосходят прочность

напыляемого слоя, в результате происходит образование трещин в покрытии, а затем и его отслаивание. Термодинамическими расчетами и структурным анализом установлено, что можно проводить напыление на окислительном пламени $\beta = 1,75$. Окислительное пламя имеет высокую температуру и повышает теплосодержание частиц порошка, но при этом покрытие получается плотным и недостаточно пористым. Поэтому для обеспечения пористости покрытия и высокой прочности сцепления оптимальным считается нейтральное пламя при $\beta=1,1-1,3$. При оптимальном β достигается большая производительность напыления и при этом мощность пламени составляет около 3500Дж/л. При дальнейшем увеличении мощности пламени происходит снижение производительности напыления, оптимальное значение которой составляет 6,7 кг/час. Величина сцепления порошка в зоне пятна, образующаяся в результате напыления равно диаметру ствола значительно выше, чем за его пределами в периферийной зоне. При напылении шейки вала по винтовой линии необходимо обеспечить оптимальное условие перекрытия каждым последующим циклом витка от предыдущего цикла.

На рисунке 4 дана зависимость сцепления напыляемого материала от мощности пламени q_n , состава смеси β и производительности напыления Q .

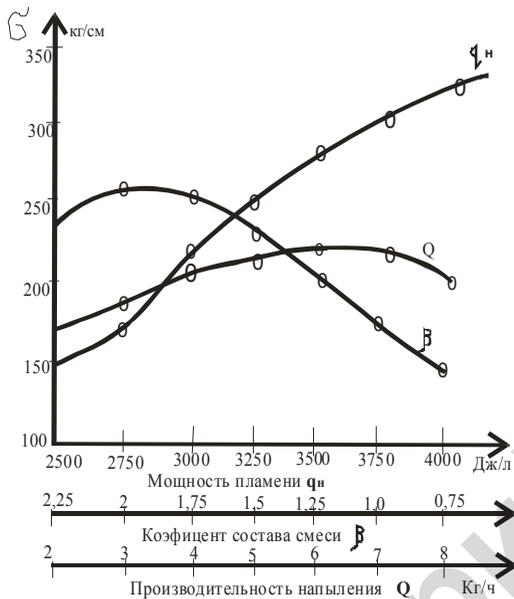


Рисунок 4 – Зависимость прочности сцепления напыляемого материала от мощности пламени, коэффициента состава смеси и производительности напыления

Для газопламенного напыления, это будет увеличение числа проходов и перекрытие двух соседних проходов. В связи с этим следует соблюдать определенное соотношение между скоростями вращательного и поступательного перемещения детали. Скорость напыления складывается из двух скоростей: скорости вращательного перемещения и скорости поступательного перемещения детали:

$$V_n = \sqrt{V_e^2 + V_n^2}, \quad (1)$$

где V_e – скорость вращательного перемещения детали;

V_n – скорость поступательного перемещения детали.

Скорость вращения детали определяется соотношением:

$$V_e = \pi D / t_{об}, \quad (2)$$

где D – диаметр шейки вала, мм; $t_{об}$ – время оборота детали, с.

Время оборота определяется:

$$t_{об} = (\pi H D) / (h d), \quad (3)$$

где H – требуемая толщина напыляемого слоя, мм; h – скорость образования слоя пятна, мм/с; d – диаметр пятна, мм.

Для обеспечения оптимального перекрытия вводится коэффициент δ перекрытия пятна ($0 \leq \delta \leq 100\%$).

Тогда скорость вращения будет иметь вид:

$$V_e = (\pi D(100 - \delta)) / (100 t_{об}) = (d(100 - \delta)) / (100 t), \quad (4)$$

где t – время, затрачиваемое на напыление одного пятна, с.

$$t = H/h \quad (5)$$

Для поступательного перемещения детали $L = d$, тогда

$$V_n = d / t_{об} = (d(100 - \delta)) / (100 t_{об}). \quad (6)$$

Пример расчета времени оборота восстанавливаемого вала СМД-62.

Для установки ОКС-5522 известно:

- скорость образования слоя пятна $h = 2,2$ мм/с;
- диаметр пятна $d = 4,6$ мм;

Восстанавливаемый коленчатый вал СМД – 62:

- диаметр шатунной шейки вала $D = 84$ мм;
- длина шатунной шейки вала $L = 82$ мм;
- толщина напыляемого слоя $H = 1,5$ мм;
- коэффициент перекрытия пятна $\delta = 30\%$.

Расстояние между торцом мундштука и восстанавливаемой поверхности в пределах 130 – 190 мм.

Время оборота (формула 3):

$$t_{об} = (3,14 \cdot 1,5 \cdot 84) / (2,2 \cdot 4,6) = 39,1 \text{ с.}$$

Скорость вращения вала (формула 4):

$$V_e = (4,6(100 - 30)) / (100 \cdot 1,5 / 2,2) = 4,7 \text{ мм / с.}$$

Скорость перемещения вала (формула 6):

$$V_n = (4,6(100 - 30)) / (100 \cdot 39,1) = 0,08 \text{ мм / с.}$$

Скорость напыления шейки (формула 1):

$$V_n = \sqrt{4,72^2 + 0,08^2} = 4,7 \text{ мм / с.}$$

Время восстановления шейки коленчатого вала

$$t_e = (100 L \cdot t_{об}) / (d(100 - \delta)). \quad (7)$$

$$t_e = (100 \cdot 82 \cdot 39,1) / (4,6(100 - 30)) = 995,7 \text{ с.}$$

После газопламенного напыления коленчатого вала необходимо произвести черновое и чистовое шлифование шеек вала до номинального размера.

Выбор шлифовального круга. Подбор шлифовального круга осуществляется исходя из паспортных данных шлифовального станка и восстанавливаемого коленчатого вала.

Шлифовальный круг: ПП 1060 × 40 × 30525А50С15К.

Скорость детали: черновая 20 м/мин, чистовая 30 м/мин.

Скорость шлифовального круга: черновая 30м/с, чистовая 35м/с.

Число оборотов детали: черновая 76мин⁻¹, чистовая 114мин⁻¹.

Число оборотов шлифовального круга: черновая 540мин⁻¹, чистовая 630мин⁻¹.

Радиальная подача: черновая 0,075 мин⁻¹, чистовая 0,005 мин⁻¹.

Припуск на шлифование: $h = 0,5$ мм.

Для черновой обработки: $h_1 = (2/3) \times h = (2/3) \times 0,5 = 0,33$ мм.

Для чистовой обработки: $h_2 = (1/3) \times h = (1/3) \times 0,5 = 0,17$ мм.

Фактическая скорость вращения детали и шлифовального круга.

Частота вращения шпинделя и шлифовального круга по паспорту шлифовального станка.

Частота вращения детали: при черновой обработке – 80 мин⁻¹; при чистовой обработке – 120 мин⁻¹.

Частота вращения шлифовального круга: при черновой обработке – 540 мин⁻¹; при чистовой обработке – 630 мин⁻¹.

Тогда фактическая скорость вращения детали и шлифовального круга будет:

$$V' = \pi D h' / 1000 . \quad (8)$$

Фактическая скорость детали: при черновой обработке – 21,1м/мин; при чистовой обработке – 31,6м/мин.

Фактическая скорость шлифовального круга: при черновой обработке – 1798,2м/мин (30м/с); при чистовой обработке – 2097,9 м/мин (35м/с).

Определение машинного времени:

$$T_0 = (h_1 L) / (S_{p1} n_1) + (h_2 L) / (S_{p2} n_2) , \quad (9)$$

где h_1 и h_2 – припуск на чистовую и черновую обработку, мм;

S_{p1} и S_{p2} – радиальная подача при черновой и чистовой обработке, мм⁻¹;

n_1 и n_2 – число оборотов шпинделя при черновой и чистовой обработке в минуту;

L – ширина обрабатываемой поверхности.

$$T_{0\text{черн}} = (0,33 \cdot 82) / (0,075 \cdot 80) = 4,5 \text{ мин} .$$

$$T_{0\text{чист}} = (0,17 \cdot 82) / (0,05 \cdot 120) = 23,2 \text{ мин} .$$

$$T_0 = 4,5 + 23,2 = 27,7 \text{ мин} .$$

Для коленчатого вала:

$$T_0 = 194 \text{ мин} , T_e = 11 \text{ мин} .$$

Штучное время:

$$T_{шт} = (1 + 11)(1 + ((4 + 6) / 100)) = 220 \text{ мин} .$$

Выводы

Предложенная технология газопламенного напыления отличается от используемых большей эффективностью восстановления шеек коленчатых валов, позволяющая увеличить срок службы вала примерно в 2 раза, что неотъемлемо сказывается на работоспособности двигателя в целом. Производимое по данной технологии восстановление коленчатого вала ведется до номинального размера, а себестоимость восстановления ниже, по сравнению с другими технологиями.

Список использованной литературы

1. Надежность и ремонт машин / [В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М. : Колос, 2000. – 775с.
2. Тойгамбаев, С.К. Анализ износа деталей транспортных и технологических машин : методические указания / С.К.Тойгамбаев, А.П.Шнырёв. – М. : МГУП, 2005. – 27с.
3. Хасуй, А. Наплавка и напыление / А.Хасуй, О.Моригаки : пер. с яп. В.Н. Попова; под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение.1985. – 240с.
4. Свищев, В.И. Восстановление коленчатых валов тракторных дизелей детонационным напылением в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий / В.И. Свищев. - М.: МИИСП, 1985. – 237с.
5. Потапов, Г.К. Интенсификация электротехнологических процессов формирования износостойких покрытий из порошковых твердых сплавов при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники в условиях ремонтных предприятий ГОСАГРОПРОМА / Г.К. Потапов. – М.: МИИСП, 1988. – 325с.