

7. Гаркунов, Д. Н. Триботехника, износ и безызносность [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
8. Басинюк, В. Л. Разработка технологии и применение многослойных комбинированных покрытий на основе оксидокерамики [Текст] / В.Л. Басинюк, М.А. Белоцерковский // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 2. – С. 203-209.
9. Коломейченко, А. В. Повышение износостойкости внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин при использовании комбинированной технологии микродугового оксидирования и нанесения медного слоя [Текст] / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 7. – С. 39-43.

Аннотация

Технологические приемы улучшения антифрикционных свойств покрытий, сформированных МДО, работающих в условиях граничного трения

Разработана технология восстановления посадочных отверстий опор граблин жаток для уборки трав кормоуборочных комбайнов с применением микродугового оксидирования.

Abstract

Engineering techniques improve the antifriction properties of coatings, formed DHS, working in conditions of boundary friction

The technology of restoration planting holes towers reapers for harvesting herbs harvesting combines the application of micro-arc oxidation.

УДК 621.791.92:631-77

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ НАПЛАВКЕ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Скобло Т.С., д.т.н., профессор; **Сидашенко А.И.**, к.т.н., профессор;
Гончаренко А.А., ассистент

*Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства,
г. Харьков, Украина*

Актуальность. Увеличение срока службы современных и вновь создаваемых машин и механизмов - одно из важных звеньев общей проблемы повышения качества изделий. В этой связи становится первоочередным снижение износа и увеличение долговечности узлов трения. Чем ответственнее машины и механизмы, чем сложнее условия работы узлов трения, чем выше стоимость конструкции, тем важнее назначение материала пар трения, а также анализ процессов при изнашивании деталей и выбор метода их восстановления.

Цель работы: разработка технологии восстановления шлицевых валов повышенной надежности на основе оценки температурного поля и уровня возникающих напряжений.

Все методы восстановления деталей выполняли при местном нагреве сварочными источниками тепла. От температурного состояния объемов в месте сварки и распределения

температур в изделии зависят качество соединения – прочность, пластичность, ударная вязкость металла, а в ряде случаев также и другие специальные свойства металла (сопротивляемость коррозии, жаропрочность и др.) [2]. Не оптимальный для конкретного материала режим нагрева и охлаждения изделия в условиях сварки может привести к появлению различных дефектов в соединении – трещин, непроваров, подрезов, а также к повышенным деформациям и напряжениям. Тепловое состояние и процессы при сварке в значительной степени определяют такие характеристики, как производительность и технико-экономическая эффективность восстановления. Таким образом, ряд основных процессов, сопровождающих процесс сварки, связаны с тепловым состоянием металла на различных стадиях получения соединений.

При эксплуатации вала привода гидронасоса одна шлицевая его часть, работающая в сопряжении с шестерней насоса, изнашивается больше, чем в сопряжении с переходной втулкой. Поэтому одним из вариантов восстановления может быть принята следующая технология ремонта: разрезка двух валов с сохранением малоизношенных шлицевых частей. Порезка производится таким образом, чтобы при их сварке в стык длина вала соответствовала бы размерам чертежа на данную деталь.

Существуют различные методы восстановления шлицевых валов, однако отсутствует информация об уровне возникающих напряжений при их восстановлении. Важным критерием оценки состояния восстановленной детали является расчет температурных полей.

В связи с этим целью настоящей работы явилась разработка метода оценки уровня напряжений при восстановлении вала методом сварки в стык.

Рассчитывали температуру для области, симметричной относительно сварного шва, как показано на рисунке 1. Половина самого шва приближенно аппроксимировалась ломаной 2-3-4-5-6. Область 1-9-7-8 соответствует области вала после сварки. Линия 1-8 является осью вала. Таким образом, длины линий 1-9 и 8-7 равны радиусу вала. Длина линий 1-8 и 9-7 равнялась 199мм. При расчете температурного поля область 1-9-7-8 была разбита квадратной сеткой с размером ячеек 1мм на 1мм. Так что по высоте было 12 линий, а по ширине 200 линий. ($m=12$; $n=200$). Линия 2-3 соответствовала $m=6$. Линия 4-5 соответствовала $m=9$. Длина линий 2-3 и 4-5 равнялась 2мм. Соответственно, длина линии 9-6 равнялась 4мм. Такое решение можно назвать задачей с переменной областью. В первый момент времени область 2-3-4 становится больше по высоте на 1мм, температура металла электрода равна $T_z=1800-2000^{\circ}\text{C}$ (рассчитывали поле при той и другой температуре, но в работе принято первое значение, так как при нем формируются меньшие напряжения). Затем через равные промежутки времени наращиваются такие слои согласно приведенному рисунку.



Рисунок 1 – Схема области сварки при расчете температурного поля

Расчет температуры при сварке двух частей вала производили с помощью решения уравнения теплопроводности [1]:

$$c \cdot \gamma \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где r - расстояние от центра вала до любой точки по радиусу, м;
 z - расстояние от центра сварного шва до этой же точки, м;

τ - время от начала расчета;

$T = T(r, z, \tau)$ - температура в точке с координатами r, z в момент времени τ , °C;

γ - плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

λ - теплопроводность, $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$; теплопроводность зависит от температуры, и рассчитывали по приближенной формуле:

$$\lambda = 45 + 25 \cdot \frac{T - 1200}{1180}; \quad (2)$$

где 45 – теплопроводность при температуре 1200°C;

25 – теплопроводность при 20°C. В промежутке между 20 и 1200°C теплопроводность изменялась по линейному закону.

c - коэффициент удельной теплоемкости, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; коэффициент удельной теплоемкости зависит от фазового состояния металла и рассчитывали согласно [1] по формуле:

$$C = \left\{ \frac{c_g + c_l}{2} + \frac{\rho}{(T_l - T_s)} \right\}, \quad (3)$$

где T_l - температура ликвидуса;

T_s - температура солидуса;

c_g - удельная теплоемкость металла в жидкой фазе;

c_l - удельная теплоемкость металла в твердой фазе;

ρ - скрытая теплота плавления, для стали равная $65 \frac{\text{ккал}}{\text{г}}$.

При этом значение «с» определяется в пределах от жидкой до твердой фазы.

Начальное условие для области 1-2-3-4-5-6-7-8:

$$T(r, z, 0) = T_0, \quad (4)$$

где T_0 – температура вала до сварки.

Начальную температуру в области 2-3-4-5-6-9 изменяли послойно и в общем виде выглядит так:

$$T(r(\tau_r), z(r(\tau_r)), \tau_r) = T_z, \quad (5)$$

где T_z – температура металла электрода;

τ_r – время, при котором для заданного радиуса r в области шва происходит сварка;

$z(r(\tau_r))$ – ширина сварного шва, соответствующего радиусу r (см. рисунок 1).

Граничные условия:

На границе с воздухом 2-3-4-5-6-7 тепловой поток в виде излучения:

$$-Q = \frac{\partial T}{\partial r} \cdot \lambda, \quad (6)$$

где тепловой поток Q рассчитывали по формуле:

$$Q = k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (7)$$

k_{kv} - коэффициент, учитывающий конвекцию и взаимное отражение от стенок шва;

3.8 - коэффициент, зависящий от теплоемкости и степени черноты;

T - температура возле поверхности вала или сварного шва;

T_{cp} - температура окружающей среды.

На границах 1-9 и 7-8 предполагается условие симметрии, т.е. отсутствие тепловых потоков:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0. \quad (8)$$

На границе 1-8 также предполагается условие симметрии:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0. \quad (9)$$

Поставленную задачу решали методом конечных разностей по явной разностной схеме [1]. Как уже отмечалось, область была разбита на квадратные ячейки размером 1×1 мм. Каждой точке такой сеточной области установили 3 индекса соответственно:

i - номер линии по горизонтали (по радиусу);

j - номер линии по вертикали (по длине);

k - номер расчета по времени (его еще называют номером временного слоя).

Тогда уравнение теплопроводности (1) в конечных разностях имеет вид:

$$c_{ijk} \cdot \gamma_{ijk} \cdot \frac{T_{ijk+1} - T_{ijk}}{\Delta \tau} = \lambda_{ijk} \cdot \left(\frac{T_{i-1jk} - 2 \cdot T_{ijk} + T_{i+1jk}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} \cdot \frac{T_{i+1jk} - T_{i-1jk}}{2 \cdot \Delta r} + \frac{T_{ij-1k} - 2 \cdot T_{ijk} + T_{ij+1k}}{\Delta z^2} \right) \quad (10)$$

Из этого уравнения температуру в точке i, j на следующем $k+1$ -м шаге по времени T_{ijk+1} составит:

$$T_{ijk+1} = T_{ijk} + \frac{\lambda_{ijk} \cdot \Delta \tau}{c_{ijk} \cdot \gamma_{ijk}} \cdot \left(\frac{T_{i-1jk} - 2 \cdot T_{ijk} + T_{i+1jk}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} \cdot \frac{T_{i+1jk} - T_{i-1jk}}{2 \cdot \Delta r} + \frac{T_{ij-1k} - 2 \cdot T_{ijk} + T_{ij+1k}}{\Delta z^2} \right). \quad (11)$$

Эта формула верна и используется для всех внутренних точек области. В точках, прилегающих к границе, учитываются граничные условия в конечных разностях.

Граница 1-9 и 7-8:

$$\frac{T_{ij-1k} - T_{ij+1k}}{2 \cdot \Delta z} = 0. \quad (12)$$

Для линии 1-9 в (11) при $j=1$ вместо $T_{i,-1,jk}$ подставляется из (12) T_{i2k} .

Аналогично, для линии 7-8 в (11) при $j=n$ вместо T_{in+1k} подставляется из (12) T_{in-1k} .

Граница 1-8:

$$\frac{T_{i-1jk} - T_{i+1jk}}{2 \cdot \Delta r} = 0 \quad (13)$$

В формулу (11) при $i=m$ вместо T_{m+1jk} подставляется из (13) T_{m-1jk} .

Чтобы не загромождать текст излишними подробностями из-за зоны сварки, опишем, как учитывали граничное условие (6) с тепловым потоком (7) на линии 6-7.

Граничное условие (6) с учетом (7) в разностном виде записывается так:

$$\frac{T_{1jk} - T_{2jk}}{\Delta r} \cdot \lambda_{2jk} = -k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T_{2jk} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right]. \quad (14)$$

Отсюда в формулу (11) вместо T_{1jk} записывается его выражение из (14):

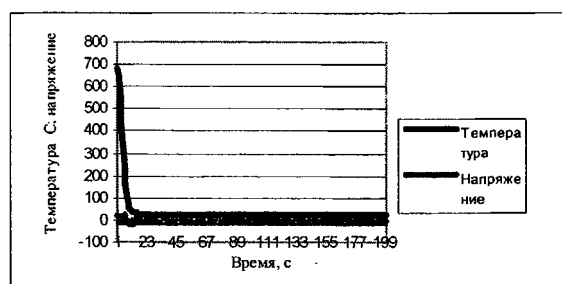
$$T_{1jk} = T_{2jk} - \frac{\Delta r}{\lambda_{2jk}} \cdot k_{kv} \cdot 3.8 \cdot \left[\left(\frac{T_{2jk} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right]. \quad (15)$$

Вычислив по (11) все значения T_{ijk+1} с учетом (12),(13) и (15), а также с учетом изменения (или не изменения, если время сварки истекло) области, для следующего шага по времени эти значения пересылаются на место T_{ijk} и расчет повторяется заново соответственно заданному времени $\tau_{общее} : \Delta \tau$ раз.

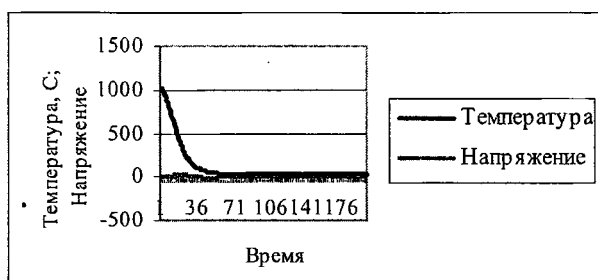
Величину шага по времени из условия устойчивости разностной схемы (11) согласно [1] выбирали согласно формуле

$$\Delta \tau \leq \max \left(\frac{\gamma_{ijk} \cdot c_{ijk}}{\lambda_{ijk}} \cdot \Delta r^2 \right). \quad (16)$$

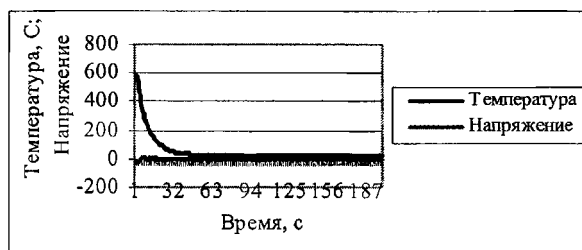
Характерное изменение температур во времени в зависимости от расстояния по месту сварки приведено на рисунке 2, а-з.



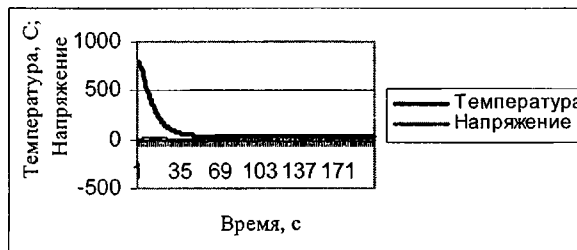
Граф а



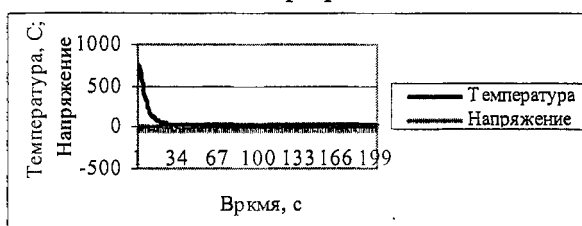
Граф д



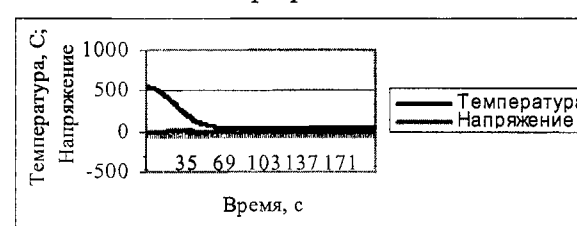
Граф б



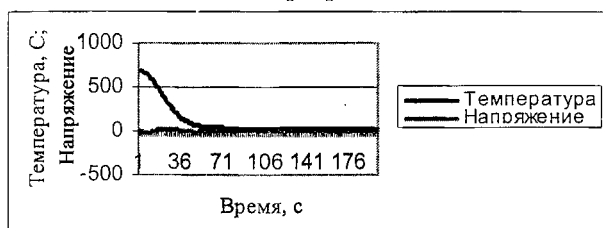
Граф е



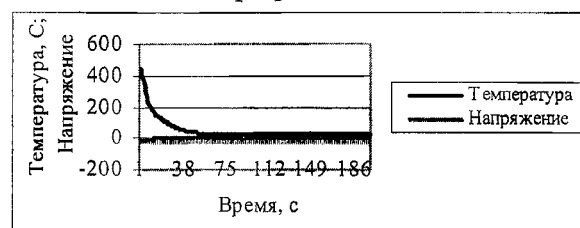
Граф в



Граф ж



Граф г



Граф з

Рисунок 2 – Изменение температур во времени в зависимости от расстояния по месту сварки

Наиболее заметное изменение температур характерно в первый момент для расстояния 34мм. Затем температура вдоль оси вала через 10 – 15мм падает до 450°С на расстоянии от места сварки до 18 – 20мм.

В результате проведенных теоретических исследований предложена методика расчета температурных полей при проведении операции по сварке в стык двух частей вала, а также оценены температурные поля во времени при такой обработке. Результаты исследований планируется использовать для оценки температурных напряжений при различных способах восстановления валов. Это позволит выбрать наиболее рациональный метод их восстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1966. – 724 с.
2. Васидзу, К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: «Мир», 1987. – 542 с.
3. Амензаде, Ю. А. Теория упругости. М.: «Высшая школа», 1976. – 272 с.
4. Петров Г.Л., Тумарьов А.С. Теория сварочных процессов. М.: Высшая школа, 1977. – 392 с.
5. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 392с.

Аннотация

Моделирование температурного поля при наплавке в среде защитных газов

В результате проведенных теоретических исследований предложена методика расчета температурных полей при проведении операции по сварке в стык двух частей вала, а также оценены температурные поля во времени при такой обработке. Результаты исследований планируется использовать для оценки температурных напряжений при различных способах восстановления валов. Это позволит выбрать наиболее рациональный метод их восстановления.

Abstract

Modeling temperature field when surfacing among protective gases

Following consultations theoretical studies offered calculation temperature fields in conducting operations welding in splice two parts shaft rather also evaluated temperature fields time when such processing. Results studies planned use to assess thermal stress when various ways restoring Shafts. This will select most rational method their restoring