

М 474051

Московское

ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЗАКОРИН ГЕННАДИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

УДК 621.791.4

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ
КОЛЕС ЗАМЕНОЙ ЧАСТИ ДЕТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ

Специальность 05.03.06 - Технология и машины
сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Работа выполнена в Калининском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ГИРШ В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
УШАКОВА С.Е.

кандидат технических наук, старший
научный сотрудник АНТОНОВ В.П.

Ведущее предприятие - ВНПО "Ремдеталь"

Защита состоится "26" мая 1988 г. на заседании
специализированного совета К053.15.03 в Московском ордена Ле-
нина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красно-
го Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по
адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверен-
ный печатью, просим направлять по указанному адресу.

1988 г.

ГИРШ В.И.

Л
Зак

М 4740 57

100 экз.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Директивами XXII съезда КПСС предусматривается экономия материалов и средств, повышение эффективности использования техники. Одним из путей решения этой задачи является своевременный и качественный ремонт машин.

В настоящее время свыше 80 % автотракторных деталей становятся непригодными для дальнейшего использования при локальном износе какого-то одного элемента. Примером этому являются вал-шестерни и блоки шестерен с 2-мя и более зубчатыми венцами, восстановление изношенных элементов которых сопряжено с необходимостью сохранения размерной точности всего изделия. Ежегодно их выпускается около 38 млн. штук. Для изготовления зубчатых колес применяются низколегированные стали.

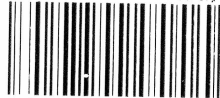
При капитальном ремонте 68...80 % таких деталей выбраковывается из-за износа одного зубчатого венца, в то время как ресурс работы остальных элементов выработан лишь на 25...50 %. Поэтому потребность в запасных частях весьма значительная. Так, только для РСФСР она составляет порядка 1,35 млн. штук по трем наименованиям зубчатых колес для трех марок автомобилей.

Из известных способов восстановления - наплавкой, пластическим деформированием и заменой части детали - последний наиболее приемлем для блоков шестерен. На практике его возможности ограничены из-за плохой свариваемости материала традиционными методами и близкого расположения других элементов, препятствующих доступу электрода к месту сварки или установки штифтов. Ряд этих ограничений позволяет снять диффузионная сварка (ДС). Однако, современное состояние технологии ДС не позволяет обеспечить необходимую размерную точность.

Целью работы является разработка технологии приварки элементов зубчатых колес с применением ДС при восстановлении автотракторных деталей типа блоков шестерен.

Методы исследования. Пластическая деформация микровыступов и образование фактического контакта определялись методом профилографирования фиксированного участка поверхности соединения до и после пребывания ее в условиях ДС. Формаизменение заготовки определялось методом механического измерения общей длины и диаметра ее до и после сварки. Оценка формаизменения заготовки в осевом направлении в зоне нагрева устанавливалась с использованием оптического метода измерения и профилографирования. Для ис-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1474051

Закорин Г.В. Разработка те:



I

исследования кинетики зарастания несплошностей на поверхности контактирования применялись профилографирование и фрактография поверхности соединения, а также методы металлографии. Механические свойства оценивались по прочности на отрыв и по ударной вязкости на сварных образцах. Для оценки структуры зоны сварки проводились металлографические исследования. Обработка результатов осуществлялась с применением методов математической статистики.

Качество восстановленных деталей оценивалось по механическим испытаниям на прочность и износостойкость. Износ измерялся оптическим методом с помощью часового проектора типа ЧП.

Научная новизна связана с установлением закономерностей проявления деформации формоизменения, получения прочного соединения и зарастания несплошностей в плоскости контактирования. Показано, что:

- закономерности роста деформации микровыступов, обеспечивающей образование фактического контакта, и роста деформации формоизменения детали, приводящей к нарушению размерной точности, неодинаковы. Интенсивная деформация микровыступов происходит на I и II стадиях, а деформация формоизменения детали, определяемая процессами ползучести, в значительной степени (до 80 %) происходит на III стадии;

- на прочность соединения влияет не только величина фактического контакта поверхностей сварки, но и скорость пластической деформации микровыступов, с которой этот контакт достигается;

- закономерности зарастания пор, определяемые диффузионными процессами и свойственные кристаллическим телам, могут быть распространены на случай ДС. Зарастание несплошностей, оставшихся в конце I и II стадий процесса ДС, может осуществляться только при термическом воздействии (термообработке), если размер несплошностей не превышает ~ 15 мкм, что соответствует величине контакта поверхностей сварки порядка 80...85 %.

Практическая ценность. Определены режимы сварки для получения сварных соединений с низким уровнем остаточной деформации, найдены условия, при которых соосность и формоизменение при сварке сохраняются в пределах допуска. Разработана методика выбора варианта построения технологии восстановления и оп-

ределения параметров сварки, позволяющая в зависимости от габаритов детали и требований точности конструировать сварной узел и проводить оценку возможной деформации его при сварке.

Разработана и внедрена в производство технология восстановления зубчатых колес заменой части детали с применением диффузионной сварки.

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались на II Всесоюзных научно-технических конференциях по сварке и по ремонту в г. Москве (1972, 1977, 1979 и 1987 гг.), Кушине (1973 г.), Саратове (1975 г.), Харькове (1982 г.), Челябинске (1981 и 1982 гг.), Воронеже (1983 г.) и Суздале (1984 г.); на секции "Ремонт машин" ученого совета ГОСНИТИ (1980 г.); на НТС ВНИО "Ремдеталь" (1981 г.), а также на научном семинаре сварщиков г. Москвы (МВТУ им. Н.Э. Баумана, октябрь 1984 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Содержит 140 страниц машинописного текста, 71 рисунок, 22 таблицы и 110 наименований литературных источников.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зубчатые колеса отличаются большим разнообразием форм и размеров, сложностью в конструктивном и технологическом отношении. Они являются одними из тех элементов, которые лимитируют работоспособность узлов и машины в целом. Таким узлом является коробка перемены передач (КПП).

Зубчатые колеса КПП работают в условиях изгибных и контактных нагрузок при наличии абразивной и окислительной среды, что приводит их к быстрому износу. Из всех зубчатых колес КПП наиболее сложными и дорогостоящими являются: первичные валы, многовенцовые блоки шестерен и 2-х венцовые шестерни промежуточных передач. Они изготавливаются по 7 степени точности. В автотракторостроении основная масса зубчатых колес ($\approx 76\%$) имеет размеры по наружному диаметру от 60 до 250 мм.

Большинство автотракторных зубчатых колес изготавливается из низколегированных сталей 40Х, 30ХГТ, 25ХГМ, 18ХГТ, 15ХГНТА и др. При этом наиболее распространенной в автотракторном и ремонтном производствах является сталь 40Х. Это обусловило выбор ее для исследований. Стоимость материала составляет 30...55 % от

общей стоимости зубчатых колес.

По структуре сталь 40X, как все низколегированные стали, относится к феррито-перлитной группе. Поведение ее при повышенных температурах, что важно для процессов восстановления методами сварки, характеризуется повышенной пластичностью и незначительным ростом зерна в диапазоне температур 1273...1373 К. Данная сталь относится к группе плохо свариваемых сталей (эквивалентное содержание углерода равно 0,71 %).

Характерными видами износа зубчатых колес являются: износ зубьев по толщине, разрушение торцев зубьев, выкрашивание рабочих поверхностей, износ шлицев у вал-шестерен, износ посадочных поверхностей под подшипник. Наибольшую трудность при восстановлении создают дефекты зубчатого венца.

Использование того или иного способа восстановления авто-тракторных зубчатых колес (наплавкой, пластическим деформированием или заменой части детали) определяется материалом, физической сущностью процесса и конкретными условиями производства, в том числе его программой.

Для детали типа блока шестерен в условиях мелко- и средне-серийного ремонтного производства при ярко выраженном износе одного из ее элементов и сохранении работоспособности остальных частей оказывается целесообразным производить замену только изношенной части. Крепление нового элемента (заменяющей части) может быть механическим способом, дуговой или диффузионной сваркой. Принципиально возможно применение пайки и склеивания. Механическое крепление в большинстве случаев затруднено из-за конструктивных особенностей блоков. Применение дуговой сварки ограничено в связи с плохой свариваемостью, трудным доступом электрода к месту сварки и из-за коробления.

Часть этих ограничений позволяет снять диффузионная сварка. Она является одним из перспективных методов крепления. Процесс ведется при температуре выше точки рекристаллизации, а сжимающие давления составляют от 1 до 25 МПа. Сварка, как правило, ведется в вакууме. ДС позволяет получать качественное соединение различных сочетаний материалов по внутренним и труднодоступным поверхностям, что особенно важно применительно к ремонтным работам.

По форме и соотношению размеров заменяющую часть у блоков шестерен можно представить как толстостенную трубу, по наружной

поверхности которой расположены зубья венца. Поверхностью соединения при рассматриваемом способе сварки у такой детали является кольцо, включающее все или часть поперечного сечения толстостенной трубы. Для автотракторных зубчатых колес ширина его 3...10 мм, средний диаметр от 35 до 130 мм. Механическая обработка такой развитой поверхности по штатной технологии позволяет получать шероховатость $R_a = 0,63...1,25$ мкм, неперпендикулярность до 0,15 мм и неплоскостность до 0,10 мм. Учитывая соотношение размеров заменяющей части, было сделано предположение, что контакт и сварка по всей поверхности может быть обеспечена путем высокотемпературной "припасовки" поверхностей кратковременным приложением нагрузки на I стадии процесса сварки.

По сравнению с другими способами сварки ДС обеспечивает меньшую деформацию формоизменения заготовки, что позволяет считать ее прецизионной. Однако, те деформации (порядка 0,4 %), какие имеют место при традиционной технологии ДС, превышают допустимые для зубчатых колес ($\approx 0,1$ %).

Сварочное давление при ДС, от которого зависит формоизменение, необходимо для получения максимального фактического контакта поверхностей соединения ($S_{ф.к.}$). В процессе сварки имеет место пластическая деформация микровыступов, которая ведет к увеличению суммарной площади контакта. Одновременно при постоянном сварочном усилии снижается величина контактных напряжений по микровыступам. Это приводит к снижению темпа роста $S_{ф.к.}$. Ведение процесса до получения 100%-го контакта требует значительных затрат времени, в течение которого формоизменение во всем объеме заготовок станет недопустимо большим. Исходя из этого и результатов предварительных экспериментов, было сделано предположение о целесообразности ведения процесса сварки в два этапа:

I - "Ограниченное контактирование" (ОК);

II - "Завершающая термообработка" (ЗТО).

На первом этапе достигается минимально необходимый контакт, на втором - оставшиеся несплошности на поверхности контактирования залечиваются за счет диффузионных процессов при нагреве до температур сварки без давления.

Целью диссертационной работы является: разработка технологии приварки элементов зубчатых колес с применением ДС при восстановлении автотракторных деталей типа блоков шестерен.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- установить закономерности образования контакта и формоизменения заготовок в приконтактной зоне и сопоставить во времени полностью прохождения этих процессов;
- оценить необходимые энергетические условия сварки материала и возможности прохождения процесса ползучести в приповерхностных слоях;
- выявить необходимые условия для формирования сварного соединения на II этапе сваривания ("завершающая термообработка");
- разработать методику выбора варианта построения технологии восстановления и определения параметров ДС применительно к рассматриваемым объектам;
- разработать промышленную технологию восстановления зубчатых колес с применением ДС.

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МИКРОВЫСТУПОВ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ХАРАКТЕРНОГО ДЛЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ

Обзор литературных данных, характер изменения механических свойств стали 40X при нагреве и расчет минимального размера диффузионной зоны позволили определить диапазон изменения основных параметров для поиска оптимальных условий сварки:

- температура 1273...1373 К (T);
- давление 4,9...19,6 МПа (p);
- время 0,2...30 мин (t).

Величина разрежения для выбранного диапазона температур назначалась, исходя из необходимости обеспечения очистки поверхности от окисной пленки за счет диффузии кислорода в глубь металла и невозможности прохождения окислительных процессов. По литературным данным установлено, что при величине разрежения выше 1,3...6,5 Па процессами окисления в вакууме можно пренебречь, а процессы очистки существенно не изменяются в диапазоне разрежений от 1,3...6,5 Па до $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па. Это позволило при исследовании величиной разрежения не варьировать и поддерживать ее в пределах (1,3...6,5) $\cdot 10^{-2}$ Па.

Деформирование микровыступов на поверхности соединения у образцов диаметром 10 и длиной 20 мм в условиях ДС осуществлялось твердым плоским инструментом (сапфиром). При температуре

сварки, превышающей температуру рекристаллизации, пластическая деформация микровыступов проходит за счет высокотемпературной ползучести металла. Этот процесс идет интенсивно до установления определенной величины фактического контакта ($S_{ф.к.} = 80...85\%$). После этого, вследствие существенного снижения контактных напряжений, скорость деформации микровыступов ($\dot{\epsilon}_m$) падает настолько, что дальнейшим ростом $S_{ф.к.}$ можно пренебречь. Так, при $T = 1373\text{ К}$ и $p = 9,8\text{ МПа}$ значение $S_{ф.к.} = 85\%$ достигается за 12 минут, а увеличение длительности процесса еще на 12 минут увеличивает эту площадь лишь на 2 %. Малые значения $\dot{\epsilon}_m$ при $p = 4,9\text{ МПа}$ и $T = 1373\text{ К}$ не позволяют включать это давление в рабочий диапазон параметров сварки, так как установление фактического контакта порядка 85 % в этих условиях можно ожидать только при $t = 1,5\text{ часа}$.

Оценка характера деформирования приповерхностных слоев и размеров несплошностей в плоскости контакта показала, что в первую очередь сминаются микровыступы, расположенные на вершинах волнистостей. К моменту замедления роста величины фактического контакта (I этап сваривания) несплошности остаются на отдельных участках, соответствующих более глубоким впадинам. При зарастании их наблюдаются две тенденции: в пределах объемов начально относительно больших несплошностей идет образование более мелких (появление перемычек) и уменьшение поперечного сечения несплошностей с приближением их к сферической форме.

Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ФОРМО- ИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ХАРАКТЕРНОГО ДЛЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ

В условиях термодиффузионного воздействия, характерного для ДС, одновременно с образованием контакта происходит нежелательное формоизменение заготовки, что приводит к нарушению размерной точности изделия. Для количественной оценки формоизменения были поставлены эксперименты на таких же образцах, как при исследовании образования контакта.

Анализ экспериментальных данных по формоизменению заготовок в условиях ДС, сопоставление их с величиной фактического контакта и учет стадийности процесса сваривания показали, что до величины $S_{ф.к.}$ порядка 80...85 % формоизменение не превышает 1...1,4 %. Продолжение процесса термодиффузионного воздействия

по традиционной схеме (III стадия сваривания) дает прирост контакта на 2...7 % при одновременном увеличении деформации формоизменения в 1,5...2 раза.

Значительный рост формоизменения на III стадии сваривания обусловлен ее длительностью и изменением во времени склонности материала к ползучести. Склонность материала к ползучести была оценена по энергии активации E_a'' , а также по деформационной способности (ϵ_f) и параметрам $\dot{t}$ (упрочнения) и $\bar{t}$ (возврата). Установлено, что если время приложения нагрузки $t > \bar{t}$ ($\bar{t}$ - время ожидания срабатывания источников микропластической деформации), то величина формоизменения будет определяться не только величиной ϵ_f , но и содержать добавку от дополнительно сработавших источников микропластической деформации. При этом вклад ϵ_f в деформацию формоизменения на этапе "OK" возрастает с давлением.

Для получения прецизионного соединения при восстановлении необходимо знать, кроме соответствующего режима сварки, распределение деформации по приконтактной зоне. Эти исследования проводились в диапазоне параметров: $T = 1123...1423$ К, $p = 4,9...24,5$ МПа, $t = 0,2...12$ мин. Установлено, что в температурном диапазоне $T = 1223...1423$ К с вероятностью 0,99 распределение изменения величины площади сечения заготовки в осевом направлении в зоне нагрева не зависит от параметров сварки и масштабного фактора и локализуется в зоне нагрева. Ее протяженность от плоскости сварки при использовании одновиткового индуктора составляет порядка 20 мм. Для этих условий получена зависимость изменения деформации заготовки по диаметру вдоль зоны нагрева.

Характер деформации внутренней поверхности трубчатой заготовки иной. Она деформируется в сторону увеличения диаметра, но значительно в меньшей степени. Величина этой деформации зависит от толщины стенки, уменьшаясь с ее увеличением. Например, для толщины стенки (обода зубчатого венца) 3,5 и 16 мм она составляет 90 и 0,7 мкм соответственно. Поэтому при сварке эта поверхность принята за базовую. Минимально необходимая высота центрирующего пояса у зубчатых венцов равна 3...7 мм. Большие значения - для более тонких ободов зубчатых венцов.

Величина деформации формоизменения, в том числе деформация по диаметру в плоскости сварки $\Delta \varnothing$, в условиях ДС уменьшается

ся с увеличением габаритов заготовки и соответственно площади сварки ($F_{св}$). Характер зависимости $\Delta \varnothing_0$ от $F_{св}$ сохраняется при изменении параметров термдеформационного воздействия.

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ

Соединение диффузионной сваркой образуется в твердом состоянии и определяется процессами в контакте и ближайших к нему объемах. Экспериментами установлено, что на прочность соединения (σ_p) влияет не только величина фактического контакта поверхностей сварки, но и скорость пластической деформации микровыступов, с которой этот контакт достигается. Это выражается в том, что максимумы значений σ_p и $\dot{\epsilon}_m$ при изменении давления совпадают.

Анализ экспериментальных данных показал, что прочность соединения и деформация формоизменения заготовок для тех же режимов коррелируют. Этот вывод был подтвержден расчетами энергии активации процесса объемной ползучести и энергии, затрачиваемой при получении соединения. Значения величин этих энергий близки (185 и 200 кДж/моль соответственно).

Однако, как показали исследования, коэффициент корреляции между прочностью соединения и величиной его деформации зависит от режима сварки. Это было установлено в результате анализа величин деформации сварных соединений, имеющих одинаковую с основным материалом прочность (818 МПа), но полученных на различных режимах. Установлено, что в исследованном диапазоне параметров деформация заготовки в зоне соединения определяется величиной давления при сварке и при постоянном давлении не зависит от температуры, которая влияет только на длительность процесса сварки. Получена зависимость коэффициента K_p от давления, позволяющая учесть влияние режима сварки (давления) на величину деформации формоизменения.

Ударная вязкость сварных соединений в исследованном диапазоне температур и давлений во многих случаях ниже, чем у основного металла, и по уровню отстает от σ_p . Исследованиями установлено, что способность к зарастанию несплошностей, остав-

шихся в конце I и II стадий ДС в плоскости контактирования, при нагреве до температур сварки без приложения давления зависит от размера несплошностей и величины фактического контакта в соединении. Если размер несплошностей не превышает ≈ 15 мкм, что соответствует величине контакта поверхностей порядка 80...85 %, то зарастание их происходит при термообработке в течение I часа при $T = 1273$ К. В результате ударная вязкость соединения повышается до уровня основного металла.

Микроструктурными исследованиями сварного соединения на различных стадиях его образования подтверждена правильность выводов по кинетике образования сварного соединения и правомерность принятого предположения о залечивании дефектов на II этапе цикла сварки. Установлено, что структура материала при ДС не ухудшается.

Математической обработкой экспериментальных данных и оптимизацией процесса сварки установлено, что зависимость прочности соединения стали 40Х от основных технологических параметров близка к линейной. Это обусловило необходимость, наряду с прочностью, учитывать деформацию соединения и длительность процесса сварки. Для оценки ожидаемых свойств сварных конструкций из стали 40Х установлены зависимости прочности и деформации соединения от параметров сварки, а также связь прочности соединения с его деформацией.

Глава 5. РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИФУЗИОННОЙ СВАРКИ

Требования к промышленной технологии восстановления зубчатых колес заменой части детали с применением ДС обусловили необходимость решения ряда специфических задач. Ими являются базирование восстанавливаемой детали в процессе механической обработки и центрирование частей детали при сварке.

Необходимость базирования возникает уже при подготовительной операции, когда изношенный зубчатый венец срезают и получают поверхности соединения и центрирования. Установлена возможность использования для этой цели поверхности вершин зубчатого венца, не требующего восстановления. Применение посадок с натягом обеспечивает необходимую точность центрирования, но может привести к деформации привариваемого венца и, как следствие, к нарушению

размерной точности изделия. Оба эти условия выполняются при сопряжении центрирующих поверхностей по посадке H7/k6.

Для перехода от сварки образцов постоянного сечения к сварке заготовок, соответствующих реальным изделиям, проводилась схематизация сварного узла. Новая и сохраняемая части изделия в зоне сварки представляются как отрезки толстостенной трубы, имеющей сечением площадь сварки, на которых расположены утолщения в соответствии с реальной конфигурацией изделия. Эти утолщения уменьшают деформацию формоизменения. Зубья венцов в зоне сварки в рассмотрение не принимаются. На основании такой схематизации и принятия деформации по диаметру толстостенной трубы при ДС за результат действия условного внутреннего давления (по аналогии с задачей Ляме) было получено выражение для количественной оценки деформации изделия переменного сечения. Полученное выражение позволило разработать методику выбора основных отправных положений технологии восстановления зубчатых колес:

- варианта построения технологии восстановления;
- конструкции сварного узла;
- основных параметров сварки.

Возможны следующие основные варианты построения технологии восстановления:

- "А" - приварка заготовки с последующей механической обработкой;
- "В" - сварка окончательно обработанных частей детали;
- "С" - применение финишной операции после ДС;
- "Д" - применение оправки, ограничивающей деформацию при ДС.

По вариантам "А" и "В" в соответствии с методикой были разработаны технологии восстановления первичного вала и блоков шестерен с 2-мя и более зубчатыми венцами. Применение их в производственных условиях подтвердило результаты расчета сварного узла, полученные при его проектировании согласно методике. Деформация деталей составляла не более 0,08...0,11 %, что находится в допустимых пределах.

Исследовались варианты применения ДС при ремонте методом использования "структурных резервов детали". Сущность этого метода состоит в том, что зубчатый венец, имеющий односторонний торцевой износ зубьев, устанавливается в новую позицию поворотом на 180° и соединяют диффузионной сваркой с сохраняемой частью блока. При этом возможны два варианта: I - срезанный зубчатый ве-

нец приваривается к сохраняемой части этого же блока с использованием компенсирующей вставки (для сохранения размеров по оси блока); 2 - из двух выбракованных блоков делается один годный к эксплуатации. Результаты показали, что после такого ремонта детали отвечают техническим условиям, а ресурс использования их по сравнению с новыми увеличивается на 50 или 100 % для второго и первого варианта соответственно.

Восстановленные зубчатые венцы выдерживали без разрушения 20...25- кратный рабочий момент. Металлографические исследования зоны сварки подтверждают достаточную полноту процесса образования соединения.

Эксплуатационные испытания и исследования износостойкости восстановленных деталей проводили в сравнении с серийными. Характеристики износа последних были получены в результате исследований износа прямозубого венца первичного вала (зацепление типа зубчатый венец - скользящая втулка) у 100 автомобилей ГАЗ-69. Исследования показали повышенную (на 10 %) износостойкость восстановленных зубчатых венцов, а ресурсный пробег почти до 110 тыс. км - высокую эксплуатационную надежность ДС.

Экономическая эффективность восстановления зубчатых колес с применением ДС обеспечивается за счет расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей из числа ранее бракуемых и сокращения затрат, свойственных другим способам крепления зубчатого венца.

Себестоимость восстановления, например, зубчатого венца синхронизатора первичного вала составляет 1,64 руб. при стоимости новой детали 5,8 руб. Аналогичные затраты на восстановление с применением дуговой сварки составляют 2,1 руб., при качестве, уступающем новой детали. В среднем на одну восстановленную деталь экономический эффект составляет около 2 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании обследования коробок передач автомобилей, поступивших в капитальный ремонт, определены характер, повторяемость и закономерности износа серийных зубчатых колес, установлена необходимость замены до 80 % первичных валов и до 70 % различных блоков шестерен. Конструкция зубчатых колес, характер износа и существующие способы ремонта в большинстве случаев не позволяют восстанавливать эти детали по всей номенклатуре и с высоким качеством. Перспективным является применение для этой цели диф-

фузионной сварки.

2. Анализ возможностей ДС выявил необходимость повышения ее прецизионности для рассматриваемого класса деталей. Установлено, что значительная деформация формоизменения происходит на III стадии ДС после установления 80...85 % контакта поверхностей сварки.

3. Закономерности зарастания пор, определяемые диффузионными процессами и свойственные кристаллическим телам, могут быть распространены на случай ДС. Установлено, что зарастание несплошностей, оставшихся в конце II стадии процесса ДС, может осуществляться только при термическом воздействии (термообработке), если размер несплошностей не превышает ≈ 15 мкм, что соответствует величине контакта поверхностей сварки порядка 80...85 %.

4. Предложена схема сварки в два этапа для получения прецизионного соединения, согласно которой на I этапе процесс ДС ограничивается моментом достижения величины контакта порядка 80...85 %, а залечивание оставшихся несплошностей на поверхности контактирования происходит на II этапе только при термическом воздействии (термообработке).

5. Установлено, что на прочность соединения влияет не только величина фактического контакта поверхностей сварки, но и скорость пластической деформации микровыступов ($\dot{\epsilon}_m$), с которой этот контакт достигается. В исследованном диапазоне параметров достижение ограниченного контакта (порядка 80...85 %) обеспечивается при $\dot{\epsilon}_m = (75...27) \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

6. Для низколегированных сталей разработана методика выбора варианта построения технологии восстановления и определения параметров сварки, позволяющая в зависимости от габаритов детали (площади сварки) и требований точности конструировать сварной узел и давать предварительные оценки деформации его при сварке. Для восстановления зубчатых колес из низколегированных сталей рекомендуется режим ДС: $T = 1373 \text{ К}$, $p = 14,7 \text{ МПа}$, $t = 1 \text{ мин}$ и вакуум $(1,3...6,5) \cdot 10^{-2} \text{ Па}$; режим термообработки сварного соединения (II этап): $T = 1273 \text{ К}$, $t = 50...60 \text{ мин}$, который может быть совмещен с нагревом детали под закалку.

7. Для автотракторных зубчатых колес разработана новая технология восстановления заменой части детали с применением ДС. Она позволяет производить приварку новых элементов детали вместо изношенных, не нарушая размерной точности сохраняемых частей. В

результате становится возможным поднять качество восстановления до уровня новых, восстанавливать ранее выбраковываемые детали и экономить металл в народном хозяйстве страны. Стендовые испытания партии восстановленных зубчатых колес (193 детали) показали равнопрочность сварного соединения с основным материалом, а ресурсный пробег почти до 110 тыс. км свидетельствует о надежности диффузионной сварки в эксплуатации. На основании исследований износа восстановленных зубчатых колес установлено, что восстановление с применением ДС повышает на 10 % износостойкость зубчатых венцов по сравнению с новыми.

8. Разработанная технология восстановления зубчатых колес внедрена на Зубцовском авторемонтном заводе. Годовой экономический эффект составил 36836 руб., в среднем около 2 руб. на одну восстановленную деталь.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Загорин Г.В., Филатов Н.В. Некоторые особенности технологии диффузионной сварки при восстановлении зубчатых колес // Механика и физика контактного взаимодействия: Межвузовский сборник. - Калинин: КГУ, 1977. - С.108-112.

2. Загорин Г.В. Восстановление деталей с применением диффузионной сварки // Модернизация оборудования и совершенствование технологии его ремонта в торфяной промышленности: Тезисы докладов и сообщений научн.-техн.семинара. - М.; ЦЕНТИ МПР РСФСР, 1978. - С.19-20.

3. Загорин Г.В. Диффузионная сварка в технологическом процессе восстановления деталей // Проблемы увеличения надежности элементов конструкции машин: Рекомендации областного совещания. - Калинин: ЦНТИ, 1979. - С.4-6.

4. Загорин Г.В., Казаков Н.Ф. Восстановление зубчатых колес диффузионной сваркой // Сварочное производство. - 1980. - № 1. - С. 32-33.

5. Филатов Н.В., Загорин Г.В. Ремонт и восстановление деталей // Диффузионная сварка материалов: Справочник / Под ред. Н.Ф.Казакова. - М.: Машиностроение, 1981. - Гл. 12: - С. 196-203, ил.

6. Загорин Г.В. Технологические факторы качества восстановления деталей с применением диффузионной сварки // Ремонт промышленных и сельскохозяйственных тракторов с использованием новых методов и средств: Тезисы докладов Всесоюзной научн.-техн.

конференции. - Челябинск, 1981. - С. 241-244.

7. Загорин Г.В. Надежность деталей при восстановлении с применением диффузионной сварки // Обеспечение надежности тракторной техники в свете задач, поставленных XXII съездом КПСС: Тезисы докладов Всесоюзной научно-техн.конференции. - Челябинск, 1982. - С.381-382.

8. Загорин Г.В. Диффузионная сварка при ремонте // Машиностроитель. - 1983. - № 4. - С. 30.

9. Загорин Г.В. Возможности экономии металлов методом диффузионной сварки // Экономия металла в машиностроении методами сварки: Тезисы докладов Всесоюзной научно-техн.конференции. - Воронеж, 1983. - С.131-133.

10. Загорин Г.В. Повышение точности соединений диффузионной сваркой // Машиностроитель. - 1985. - № 6. - С. 26-27.

11. Загорин Г.В., Гирш В.И. Получение прецизионных соединений диффузионной сваркой по нетрадиционной технологии // Достижения и перспективы развития диффузионной сварки : Материалы конференции. - М.: МДНТП, 1987. - С. 88-91.

Рассет

