

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер МУРЗИН В. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗЕЙ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ С ДЕФОРМАЦИЕЙ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ПРИ ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ И ЗАКАЛКЕ

(на русском языке)

Специальность 05.164 – технология машиностроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Минск, 1972

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения" Курганского машиностроительного института и на Курганском заводе колесных тягачей.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
В.П. ПОНОМАРЕВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
И.А. Коганов,
кандидат технических наук, доцент
А.Ф. ГОРБАЦЕВИЧ

Ведущее предприятие - Минский тракторный завод.

Автореферат разослан "29" мая 1972 года. Защита состоится "6 октября" 1972 года на заседании Объединенного Совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы и заключения (в 2-х экземплярах) просим направить по адресу: г. Минск, 27, Ленинский проспект, 65, БПИ, Ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь Совета,
кандидат технических наук, доцент -

/В.В. КИСЛОВ/

В пятилетнем плане развития машиностроения на 1971-1975 годы предусмотрено наряду с увеличением выпуска грузовых автомобилей и тракторов значительное повышение их мощности и грузоподъемности, как средства увеличения производительности.

Повышение грузоподъемности существующих и создание новых транспортных и тяговых машин повышенной грузоподъемности и мощности ставит перед конструкторами и технологами задачу создания надежных и экономичных трансмиссий, обеспечивающих более высокий уровень производительности машин. В связи с этим большое значение приобретает создание зубчатых передач с более высокой изгибной и контактной прочностью зубьев, повышенной плавностью работы при одновременном уменьшении их размеров и веса.

Для изготовления цементованных зубчатых колес тяжело нагруженных передач широко используются хромоникелевые стали.

Обладая высокими эксплуатационными характеристиками, зубчатые колеса из этих сталей недостаточно технологичны. Изменения размеров и формы конических зубчатых колес из хромоникелевой стали после газовой цементации и термообработки в 1,5-2 раза превышают погрешности нарезания зубьев.

Повышенные деформации требуют увеличения припуска под шлифованные зубья и базовых поверхностей и увеличения количества проходов из-за возможности шлифовочных прижогов и трещин. Особо важное значение изыскание эффективных путей борьбы с деформацией имеет для производства цементованных конических зубчатых колес, коническая форма которых предопределяет более высокую степень коробления по сравнению с цилиндрическими зубчатыми колесами. В конических зубчатых передачах, составленных из колес с твердыми нешлифуемыми зубьями деформация приводит к нарушению правильности зацепления. В настоящее время качество зацепления в таких передачах не является стабильным настолько, чтобы их можно было изготовлять по методу полной взаимозаменяемости.

Отсюда следует, что разработка и осуществление рекомендаций по уменьшению вредного влияния закалочных деформаций цементованных конических зубчатых колес является актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведен анализ теоретических и экспериментальных исследований, в которых дана оценка влияния конструкции, тех-

нологии химико-термической обработки и материала зубчатых колес на деформацию, возникающую при упрочнении зубьев.

Основными факторами, определяющими средний уровень деформации зубчатых колес, является конструкция зубчатого колеса и технология химико-термической обработки.

Как показал анализ литературы, влияние конструктивных и технологических факторов на деформацию зубчатых колес изучено недостаточно. В литературе отсутствуют сведения, характеризующие геометрическую форму конических зубчатых колес, как количественный фактор деформации при цементации и закалке. Многие сколь-нибудь значительные исследования деформации деталей проводились на простых цилиндрических беззубых образцах, не адекватных по характеру деформации соответствующим зубчатым колесам. О достоинствах конструкции зубчатого колеса или процесса химико-термической обработки на практике принято судить по среднему уровню деформации. При этом совсем не учитывается влияние случайных отклонений от нормы в процессе цементации и закалки, порождающих различие в объеме и фазовом составе упрочненного слоя. Они же ведут к разбросу деформации в партии зубчатых колес, который в ряде случаев перекрывает разницу в средних и не позволяет сделать правильные выводы из эксперимента.

По мнению некоторых исследований за рубежом, по величине объемных превращений в цементированном слое можно судить о нарушениях в предписанном процессе термообработки.

Одним из путей повышения точности изготовления цементованных конических зубчатых колес с нешлифуемыми зубьями является создание технологичных конструкций и обеспечение стабильности параметров процесса химико-термической обработки. Практическая реализация указанных путей требует знания структуры связей, существующей между источниками (факторами) деформации и геометрическими параметрами зубчатых колес.

Целью данной работы является установление связи между деформацией и ее конструктивными и технологическими факторами. На основе выявленной и исследованной структуры необходимо определить возможность моделирования деформаций зубчатых колес для оценки технологичности конструкций и прогнозирования точности изготовления зубчатых колес с твердыми зубьями. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Оценка влияния геометрической формы конических зубчатых колес на деформацию и коробление их элементов при газовой цементации и закалке.
2. Определение влияния отдельных параметров химико-термической обработки, физического и структурного состояния упрочненного материала на деформацию и коробление зубчатых колес.

Первая задача включает решение следующих вопросов:

1. Разработка классификатора конических зубчатых колес по общности их деформаций при газовой цементации и закалке.
2. Экспериментальная оценка влияния вариантов геометрической формы конических зубчатых колес на деформацию и коробление при газовой цементации и при закалке.
3. Выявление возможности замены зубчатого колеса простой его моделью для определения ожидаемой величины деформации (по модели) и допусков закаленных зубчатых колес, для оценки технологичности новой конструкции зубчатого колеса, для использования моделей в качестве объектов исследования деформации зубчатых колес.

Вторая задача включает решение следующих вопросов:

1. Экспериментальная оценка влияния отдельных параметров химико-термической обработки на точность размеров и формы зубчатых колес.
2. Исследование физического состояния материала зубчатых колес, полученного в результате цементации и закалки.
3. Исследование микроструктуры и химанализ материала зубчатых колес после цементации и закалки.
4. Выявление корреляционной зависимости деформации и коробления зубчатых колес от характеристик физического состояния, микроструктуры и химсостава стали, подвергнутой газовой цементации и закалке.

Применительно к поставленным задачам, исследуемые объекты - конструкция зубчатых колес, технология химико-термической обработки, материал, точность детали - рассматриваются как взаимосвязанные элементы технической системы.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена разработке системного подхода к исследованию деформаций зубчатых колес. В ней рассмотрены методы исследования структуры системы, вопросы физического моделирования зубчатых колес. Исследуемая система выделена из общей технологической

системы связей пооперационных погрешностей обработки. Вход ее характеризуется исходными показателями точности деталей перед газовой цементацией. Система имеет два выхода, фиксируемые как результаты процессов газовой цементации и закалки. Для решения первой задачи исследования рассмотрена подсистема "геометрическая форма - точность обработки зубчатых колес" (подсистема "Г-Т"). Системный подход был использован при планировании экспериментов и при разработке классификации зубчатых колес.

Вторая задача исследования решалась в рамках двух подсистем - "параметры химико-термической обработки - точность обработки (подсистема "Х-Т"), "материал - точность обработки" (подсистема "М-Т"). Структура, сложность, размеры и другие характеристики системы и каждой ее подсистемы полностью определяются целями и задачами данного исследования. Отбор объектов для включения в систему производился на основе оценки значимости (по данным литературы) их свойств в том аспекте, в котором объекты образуют систему в свете поставленных задач. При этом в каждую подсистему входят в качестве ее объектов деформация и какой-либо испытуемый фактор. Размеры и состав системы достаточно полно характеризуют явление объемной деформации и коробление деталей в процессе газовой цементации и закалки и в то же время позволяют с требуемой точностью производить анализ связей в системе и ее моделирование.

Зубчатое колесо и соответствующий ему зубчатый образец - модель представлены как две системы одинаковой физической природы и состоящие из аналогичных элементов. Зубчатое колесо и модель считаются подобными, если их относительная деформация (коробление) сходственных элементов существенно не различается. Степень приближения модели к изделию может быть различна в зависимости от целей и задач моделирования. При проведении расчетов допусков зубчатых колес по данным о деформации их моделей необходимо соблюдать максимальный объем требований, гарантирующий возможно более высокую степень подобия модели и изделия. В факторных экспериментах требования точности моделирования могут быть снижены без ущерба для конечных результатов, не относящихся к какой-либо конструкции конкретных зубчатых колес.

Требования к модели конечного зубчатого колеса (изделия):

I) модель должна обладать характерными признаками изделия (наличие

- зубьев, коническая форма зубчатого венца и т.п.);
- 2) модель должна копировать в определенном масштабе ($K = 0,5-1$) форму изделия и глубину цементированного слоя;
 - 3) материал модели и изделия должен быть одинаков по химическому составу и структуре;
 - 4) условия проведения операций химико-термической обработки модели и изделий должны быть одинаковыми;
 - 5) модель должна быть недорогой и несложной в изготовлении, доступной в измерении универсальными средствами;
 - 6) относительная погрешность измерения деформации и коробления модели должна быть не более 20%.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена экспериментальному исследованию зависимости деформации конических зубчатых колес от их конструкции в рамках построенной системы. Описана классификация конических зубчатых колес по идентичности деформаций при цементации и закалке, дана экспериментальная оценка влияния вариантов конструкций и отдельных параметров газовой цементации и закалки на деформацию зубчатых колес.

Многообразие и сложность сочетания конструктивных элементов конических зубчатых колес исключают проведение исследований непосредственно на изделиях.

Поэтому исследования проведены на зубчатых образцах-моделях, имитирующих варианты конструктивных элементов конических зубчатых колес. На рис. 1 приведены эскизы этих моделей и указаны их параметры. Варианты типоразмеров моделей приняты на основании анализа и систематизации существующих конструкций конических зубчатых колес грузовых автомобилей (тягачей) и тракторов.

Для систематизации конструкций конических зубчатых колес установлено пять классов: I — сплошные валы-колеса, II — полые валы-колеса, III — монолитные насадные колеса, IV — колеса со ступицами и V — колеса-диски. Образование классов основано на использовании принципа закономерного уменьшения жесткости, массивности от I класса к V классу.

На моделях имитировались следующие варианты конструктивных признаков конических зубчатых колес:

- A — размерность (длина и высота) зуба;
- Б — габаритные размеры детали;
- В — количество зубьев;
- Г — форма посадочного отрезка;

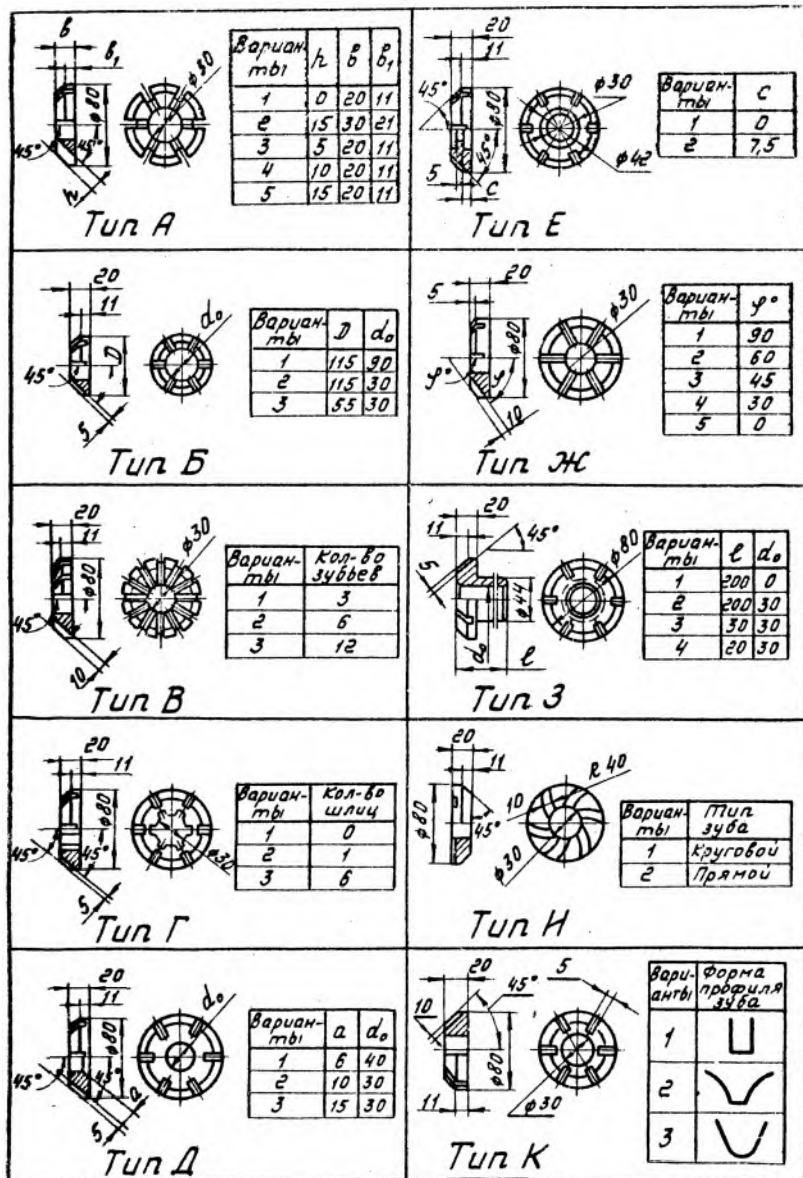


Рис. 1. Модели конических зубчатых колес.

- Д - толщина тела зубчатого венца;
 Е - взаимное положение ступицы и венца;
 Ж - величина угла конуса выступов;
 З - форма тела зубчатого колеса;
 И - форма продольного профиля зубьев;
 К - форма поперечного профиля зубьев;

Сушность эксперимента на моделях заключалась в следующем.

1. Детали-модели из стали Г2Х13А подвергались газовой цементации, закалке в масле и низкому отпуску.

2. По результатам замеров моделей до и после операций химико-термической обработки определялись:

- 1 - коробление базового торца,
- 2 - деформация внутренней поверхности,
- 3 - деформация наружной поверхности венца,
- 4 - коробление внутренней поверхности,
- 5 - биение наружной поверхности венца,
- 6 - коробление впадины зубьев,
- 7 - деформация по ширине впадины зубьев,
- 8 - накопленная погрешность окружных шагов зубьев,
- 9 - разность соседних окружных шагов зубьев,
- 10 - деформация наружной поверхности тела (вала) моделей типа "З".

Эксперименты планировались как однофакторные и двухфакторные с фиксируемыми уровнями испытаний.

В двухфакторных экспериментах изучалось влияние на деформацию зубчатых колес одновременно двух факторов: операций химико-термической обработки и вариантов конструкции изделий (факторы З и Е). В однофакторных экспериментах каждый из десяти конструктивных факторов (А до К) зубчатых колес подвергался испытанию дважды - при газовой цементации и при закалке. При этом выявлялась связь с деформацией и короблением по десяти параметрам точности зубчатых колес. Результаты эксперимента представлены линейной моделью:

а) для однофакторного эксперимента -

$$X_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad (1)$$

б) для двухфакторного эксперимента -

$$X_{zij} = \mu + A_z + B_i + (AB)_{zi} + e_{j(z_i)} \quad (2)$$

Здесь x_{ij} и x_{zij} - результаты эксперимента, относящегося к ячейке ij или zij ;

μ - математическое ожидание для среднего по всей таблице;

T_i - математическое ожидание эффекта i -го уровня;

e_{ij} и $e_{j(zij)}$ - ошибка эксперимента в ячейке с индексами ij и zij ;

A_z и B_i - соответственно эффекты z -го уровня технологического фактора А и i -го уровня конструктивного фактора В;

$(AB)_{zi}$ - эффект от взаимодействия факторов А и В.

Обработка результатов экспериментов проводилась на ЭВМ "Минск-1" методом дисперсионного анализа, построенном на линейных моделях (1) и (2). Для принятой группировки испытуемых факторов рассматривался вопрос о правомерности применения дисперсионного анализа к сгруппированным экспериментальным данным. Связь между деформацией и испытуемым фактором оценивалась по двум показателям: по дисперсионному отношению F определялась достоверность связи, по коэффициенту детерминации d_s - вклад испытуемого фактора в общую изменчивость параметра зубчатого колеса при химико-термической обработке.

Для выявления и анализа связей в подсистеме "Г-Г" последняя представлена на рис. 2 в виде гиперboloида, образующая которого описывается уравнением:

$$F = \frac{d_s}{(1-d_s)} \frac{f_e}{f_s},$$

где f_e и f_s - число степеней свободы внутригрупповой и межгрупповой дисперсий соответственно.

Экспериментальные значения коэффициентов детерминации между фактором и признаком наносим на ось гиперboloида. Выделяем для каждого испытуемого фактора определенный сектор на поверхности гиперboloида. В каждом секторе располагаем признаки точности деталей-моделей на уровне, определяемом величиной коэффициента детерминации d_s . Можно мысленно рассекать гиперboloид на разных уровнях коэффициента детерминации. Причем, каждое такое сечение будет представлять граф связей между всеми испытуемыми факторами и признаками, находящимися на поверхности гиперboloида выше рассматриваемого уровня.

По мере повышения уровня сечения (т.е. увеличения d_s и F) все большее число связей будет выладать, постепенно будут возникать группы связанных факторов и признаков деформации, характеризующие

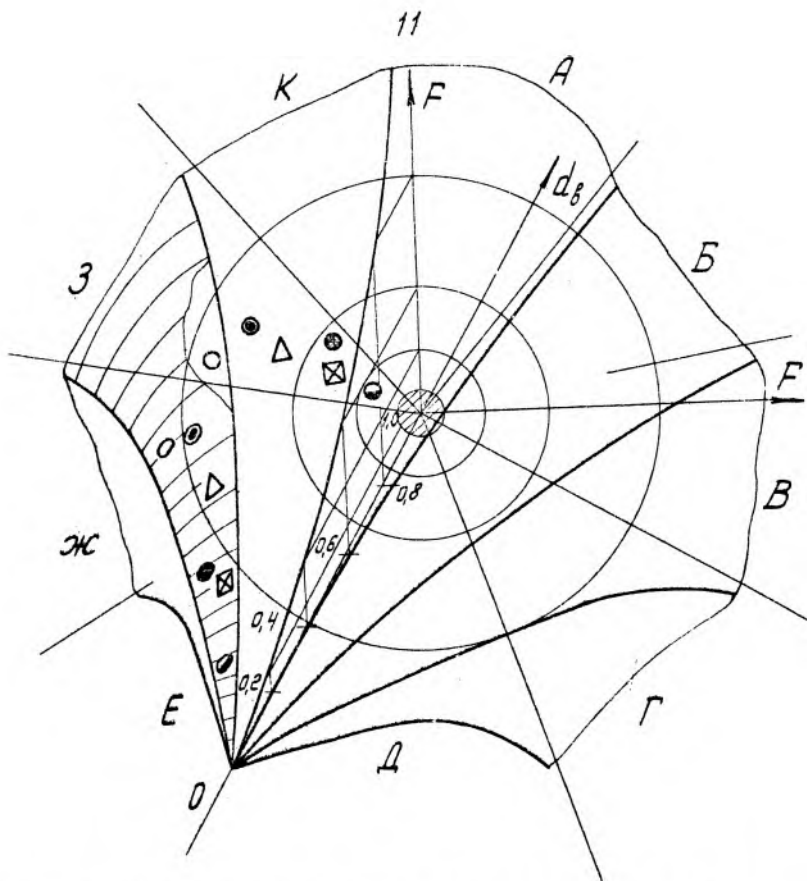


Рис.2. Геометрическая модель системы связей конструктивных факторов с закалочной деформацией деталей-моделей.

структуру связей в подсистеме "Г-Т" (рис. 3).

Проектируя на основе гиперболоида признаки, как-будто закрепленные на его поверхности в секторах, мы будем наблюдать картину рассеивания признаков по зонам их значимости ($\frac{F}{F_{0,05}}$), подобную рассеиванию пуль на стрелковой мишени.

Предлагаемая геометрическая модель связей испытуемых факторов с закалочной деформацией деталей позволила наглядно и просто показать сложные статистические связи в подсистеме "Г-Т" и определить тип их структуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИИ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Структура связей конструкции и точности закаленных моделей (рис. 3) изменяется по направлениям деформации. На коробление торца моделей влияют варианты формы тела и венца (Е, Ж, З), на деформацию зубьев — варианты профиля зубьев, их размеры и количество (А, В, К); на радиальную деформацию влияет наибольшее число вариантов конструкции моделей. Точность окружных шагов зубьев закаленных моделей существенно не изменяется при различных изменениях их конструкций.

2. В совокупном влиянии конструктивный и технологический фактор в большинстве случаев действует независимо друг от друга. Наиболее значимый эффект от взаимодействия этих факторов следует ожидать в случае изменения формы тела и конусности венца, причем более значительное при закалке, чем при цементации.

3. С увеличением разницы в конусности венца сопрягаемых колес на 45° и более их деформации будут существенно различными.

4. Введение полости в районе зубчатой головки сплошного вала-колеса, сопрягаемого с полым зубчатым колесом даст уменьшение разницы в деформации сопрягаемых зубчатых колес в осевом направлении в 1,6 раза, в радиальном — на 30% и по толщине зубьев на 38%. Эта мера приведет к улучшению качества зацепления в конической передаче с твердыми зубьями.

5. Изменение скорости охлаждения после газовой цементации существенно (94%) влияет на точность диаметра закаленных деталей. Охлаждение деталей после газовой цементации в колодце обеспечивает снижение на 20% погрешности закаленных деталей по сравнению с охлаждением на воздухе или в масле.

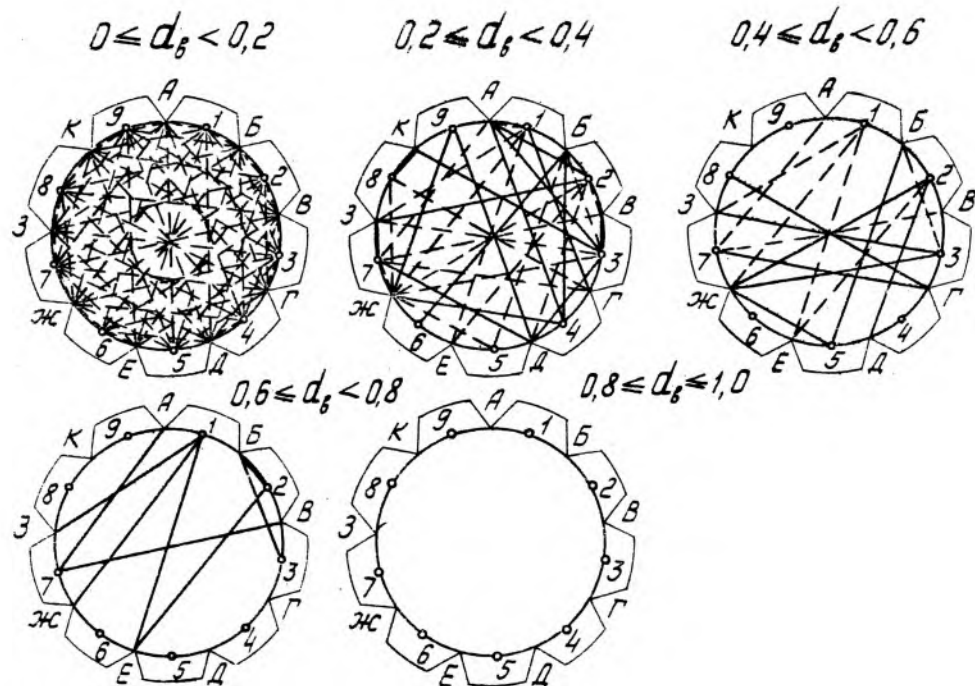


Рис.3. Графы связей, полученные сечением гиперболоида (рис.2) на различных уровнях коэффициента детерминации для закаленных деталей-моделей.

В целях упрощения диаметры колец приняты одинаковыми.

6. Колебание температуры масла от 25 до 90°C не оказывает влияния на точность закаленных деталей.

7. Изменение технологии газовой цементации и термической обработки, замена одной марки хромоникелевой стали (например, 12ХН3А на 12Х2Н4А) на другую оказывает существенное (60-85%) влияние на точность закаленных зубчатых колес.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена исследованию структуры связей в подсистеме "материал - точность обработки" зубчатых колес. Неоднородность объемной деформации и коробление деталей рассмотрены в связи с изменениями некоторых показателей физического и структурного состояния, химсостава упрочненного слоя, обусловленными случайными колебаниями технологических параметров цементации и закалки, различиями в условиях нагрева и охлаждения в партии деталей, вариациями химсостава стали в пределах плавки, ошибками эксперимента. Отбор факторов и их признаков проведен на основе анализа явления объемной деформации, возникающей при мартенситном превращении в стали. Состояние материала закаленных деталей - моделей характеризовалось следующими признаками.

Содержание химических элементов в стали (в %): X_1 - общего углерода; X_2 - марганца; X_3 - кремния; X_4 - хрома; X_5 - никеля.

Характеристики физического состояния и структуры упрочненного слоя: X_6 - содержание углерода в α -фазе сердцевин, в %; X_7 - содержание углерода в мартенсите, %; X_8 - содержание углерода в остаточном аустените, %; X_9 - общее содержание углерода в α и γ -фазах, %; X_{10} - количество остаточного аустенита, %; X_{11} - величина относительной микродеформации решетки мартенсита, %; X_{12} - размер блоков когерентного рассеивания, Å ; X_{13} - экспериментальное общее уширение линии интенсивности отражения рентгеновских лучей от плоскости (110) решетки мартенсита, мм; X_{14} - величина параметра решетки остаточного аустенита, Å ; X_{15} , X_{16} - величина твердости на поверхности и в сердцевине, в ед. HRC; X_{17} , X_{18} , X_{19} - глубина цементированного слоя на торце 2, на внутренней поверхности 1, на наружной поверхности 3 деталей-моделей, мм; X_{20} , X_{21} , X_{22} - глубина эвтектичной зоны цементированного слоя на поверхностях 1, 2 и 3 мм; X_{23} - микротвердость (послойно) на торце 2.

Для выявления характеристик материал использованы образцы типа "шлиф" в количестве 50 шт., отрезанные по одному от закален-

ных моделей из стали 12ХНЗА. По результатам измерения моделей перед газовой цементацией и после закалки определены: Y_I - коробление торца 2, мкм; Y_{II} - изменение диаметра отверстия 1, мкм; Y_{III} - изменение диаметра наружной поверхности 3, мкм; Y_{IV} - коробление наружной поверхности 3, мкм; Y_V - изменение ширины впадины зубьев, мкм; Y_{VI} - изменение накопленной ошибки окружного шага зубьев, мкм. Содержание химических элементов определено методом спектрального анализа. Характеристики физического и структурного состояния упрочненного слоя определялись методами рентгеноструктурного и металлографического анализа. Съёмка образцов проведена с помощью рентгеновского дифрактомера УРС-50ИИМ.

Освещены вопросы подготовки образцов для рентгеносъёмки и измерения толщины снимаемого слоя, выбора излучения и режима съёмки, обработки дифрактограмм.

Установлено, что экспериментальная ширина дифракционной линии ($\chi_{1,3}$) может быть принята в качестве некоторой обобщенной характеристики (Z) фазового состава упрочненного слоя деталей. Выявлено только две линии интенсивности, соответствующие α и γ - твердым растворам.

Количество углерода в мартенсите определялось по градуировочному графику и экспериментальному общему уширению линии (IIО) рабочих образцов.

Содержание углерода в аустените рассчитано по формуле:

$$\rho = \frac{a_{\gamma} - a_{\alpha}}{0,033},$$

где $a_{\alpha} = 3,55681 \text{ \AA}$ - период решетки чистого γ - железа при нормальной температуре; a_{γ} - период решетки аустенита в исследуемом слое цементированного образца -

$$a_{\gamma} = \frac{1,67327}{\sin V_{(m)}},$$

$V_{(m)}$ - угол скольжения, соответствующий дифракционному максимуму линии (III).

Для расчета количества γ - фазы выведена формула:

$$V_{\gamma} = \frac{100}{1 + 0,733 S_{110}/S_{111}}, \%$$

где S_{110} и S_{111} - площадь, ограниченная экспериментальной кривой распределения интенсивности α и γ - фаз и средней линией фона.

Проведен анализ факторов, влияющих на среднюю ширину дифракционных линий интенсивности в партии исследуемых образцов. С помощью метода аппроксимации произведена оценка доли влияния на физическое уширение линий (IIO) и (2II) факторов блочности структуры и микронапряжений.

Для выявления групп взаимосвязанных признаков материала и деформации деталей построены корреляционные кольца. После исключения из полной картины связей функциональных и близких к ним корреляционных $|r| \geq 0,90$ связей между признаками были выделены для моделирования три группы связей:

$$\hat{Y}_I = f [X_2, X_4, X_{10}, X_{13}, X_{14}] \quad (3)$$

$$\hat{Y}_II = f [X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}] \quad (4)$$

$$\hat{Y}_E = f [X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}] \quad (5)$$

Модели связей признаков Y_I и Y_E представлены в виде полинома:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_p X_p + a_{11} X_1^2 + a_{12} X_2^2 + \dots + a_{1p} X_p^2 + a_{21} X_1 X_2 + a_{22} X_1 X_3 + \dots + a_{ep} X_{p-1} X_p,$$

где p - число X -об в данном отрезке уравнения.

Построение моделей связи осуществлялось на ЭВМ "М-20" методом многошагового регрессионного анализа. Для измерений степени влияния на деформацию признаков материала $X_2, X_4, X_{10}, \dots, X_{15}$ были использованы статистические показатели (коэффициенты эластичности, вариации, β - коэффициенты и др.), учитывающие различия между признаками по размерности и уровню колеблемости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Наблюдалось существенное различие в структуре связей между характеристиками цементированного слоя и деформацией наружных и внутренних элементов деталей (рис. 4). Изменение диаметра отверстия (Y_I) в отличие изменения диаметра зубчатого венца (Y_{II}) связано с колебанием многих признаков материала, из которых наиболее значительными являются количество (X_{10}) остаточного аустенита в упрочненном слое и изменение параметра его решетки (X_{14}).

Для повышения точности диаметра отверстия в закаленных зубчатых колесах рекомендуется охлаждать детали после газовой цементации вместе с печью или в закрытом колодце.

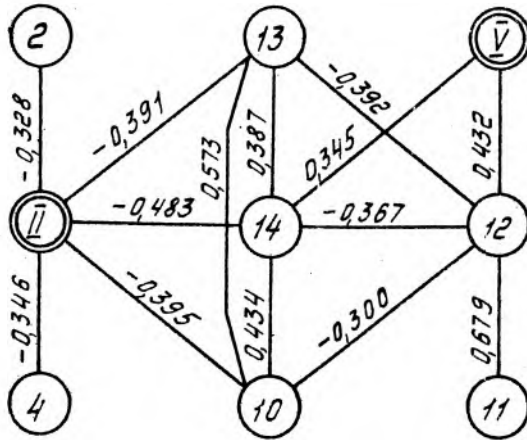


Рис. 4. Корреляционные связи между характеристиками упрочненного слоя и изменением диаметра отверстия (Y_{II}) и толщины зубьев (Y_V) деталей-моделей при газовой цементации и закалке. На линиях связи указаны значения коэффициентов парной корреляции.

2. В партии деталей в результате цементации и закалки диаметр посадочного отверстия и толщина зубьев изменялись вследствие колебания характеристик упрочненного слоя на 55-60% (полином 2-го порядка); вариации химсостава стали - на 20-23%, от прочих факторов и ошибок измерения - на 17-25%. Совокупное влияние на объемную деформацию посадочного отверстия исследуемых признаков материала распределяется следующим образом (линейная модель): X_1 и X_3 - не влияют; X_2 - 6,8%; X_4 - 10,6%; X_5 - 1,2%; X_6 - 4,1%; X_7 (X_{13}) - 8%; X_8 (X_{14}) - 18,1%; X_{10} - 4,6%; X_{11} - 2,6%; X_{12} - 2,7%.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ рассматриваются вопросы прогнозирования точности параметров зубчатых колес и оценки технологичности конструкции на основе моделирования их деформаций при химико-термической обработке, на примерах показан метод оценки технологической эффективности оснастки. Зубчатое колесо рассматривается как объект системы связей операционных погрешностей. В процессе цементации и закалки исходная погрешность (d_1) изменяется в результате деформации (d_2) и зубчатое колесо переходит в конечное состояние, характеризующее выходные погрешностями обработки (d_3). Погрешность закаленного зубчатого колеса находилась суммированием операционных погрешностей по формуле:

$$d_3 = K(d_1 + d_2), \quad (6)$$

где K - коэффициент суммирования,

$$K = 0,393 \sqrt{\rho_n \frac{100}{\rho_0} \frac{\sqrt{1+C_2^2}}{1+C_2}} \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{d_2}{d_1}$$

ρ_0 - процент производственного риска, т.е. вероятность выхода суммарной погрешности за пределы $\tilde{x}_3 \pm 0,5d_3$. Ожидаемое среднее значение погрешности закаленного зубчатого колеса равно:

$$\tilde{x}_3 = \tilde{x}_1 + \tilde{x}_2,$$

где \tilde{x}_1 - среднее значение параметра "сырого" (незакаленного) зубчатого колеса,

\tilde{x}_2 - средняя величина деформации модели по расчетному параметру.

Приведен расчет допусков закаленного конического зубчатого колеса-сателлита дифференциала тягача

Относительное отклонение расчетных допусков от фактических по диаметру посадочного отверстия - 28,9%; по толщине зубьев - 7,4%;

по биению венца - 16,6%; по разности окружных шагов - 1,8%; биению базового торца - 6,9%; конусности посадочного отверстия - 10,2%; овальности посадочного отверстия - 73%.

Погрешность зубчатого колеса после закалки равна 0,6 суммы погрешности "сырого" колеса δ_1 и величины деформации δ_2 . Для изготовления конических зубчатых колес-сателлитов хорошего качества необходимо для механической обработки использовать 2/3 допуска закаленного колеса, т.е. принять $\delta_1 = 2/3 \delta_3$. При этом по формуле (6) получим $\delta_2 = \delta_3$.

Приведена типовая схема расчета погрешностей, позволяющая автоматизировать вычисления при помощи ЭВМ. Достаточно высокая точность моделирования деформации и коробления зубчатых колес позволяет использовать модели взамен изделий для количественной оценки технологичности новых конструкций. В качестве показателей технологичности зубчатого колеса предложены: коэффициент (α) изменения средних значений и коэффициент (λ) относительного рассеивания признака точности модели зубчатого колеса при химико-термической обработке.

Значения указанных коэффициентов рассчитываются по формулам:

$$\alpha = \frac{\bar{X}_3 - \bar{X}_1}{\bar{X}_1} \quad (7) \quad \lambda = \frac{S_{X_3}}{S_{X_1}},$$

где \bar{X}_1 и S_{X_1} - средняя величина и среднеквадратическое отклонение параметра "сырой" (незакаленной) модели;

\bar{X}_3 и S_{X_3} - то же для закаленной модели.

Технологичной будет та конструкция зубчатого колеса, для которой коэффициенты α и λ наименьшие.

В работе дана оценка технологической эффективности применения шлицевой оправки для закалки прямозубых конических колес из стали 12ХНЗА, $m = 8$ мм, $Z = 22$, форма детали IV-го класса.

Оценка эффективности исправления овальности шлицевого отверстия (наибольший диаметр равен 60 мм, длина 67 мм, число шлиц 10) и неплоскостности базового торца зубчатых колес проводилась методом сравнения деформации закаленных на оправке 5 колес с деформацией их моделей, закаленных в свободном состоянии.

При этом за меру рассеяния признака точности деталей принят 95%-ный интервал, равный для моделей $\pm 2,31 S_x$ ($n = 10$ шт.) и для изделий $\pm 2,01 S_x$ ($n \geq 50$ шт.).

В результате эксперимента, проведенного на Курганском заводе колесных тягачей, установлено, что при закалке конических зубчатых колес на оправке хорошо исправляются погрешности отверстия ($\alpha = 4,5$) и одновременно резко увеличиваются погрешности базового торца ($\lambda = 9,25$). Заводу рекомендовано перевести конические зубчатые колеса полуосей тягача на закалку в штампе с фиксированием детали при закалке в осевом и в радиальном направлениях.

Предложенные показатели α и λ могут быть применимы к любым процессам обработки, при которых происходит изменение средних отклонений от номинальных размеров детали, а также интервала и плотности рассеяния этих отклонений. Дана оценка технологической эффективности исправления погрешностей термообработки при шлифовании базового торца и отверстий у конических зубчатых колес-сателлитов.

Коэффициенты α и λ определены на основании статистического анализа распределения погрешностей обработки в партии 50 зубчатых колес. В верхней строке таблицы указаны статистические характеристики точности закаленных (нешлифованных) деталей, в нижней строке — для шлифованных деталей.

Таблица

Погрешности обработки	\bar{X} , мкм	S_x , мкм	$\Delta X_{95\%}$, мкм	α	λ
Биение базового торца	64	36	136	-0,06	0,79
	60	24	108		
Биение зубчатого венца	85	46	177	0,57	1,09
	134	30	194		
Наибольшая разность окружных шагов	54	30	114	0,31	1,11
	71	28	127		
Накопленная погрешность окружного шага	88	40	168	0,89	1,47
	166	41	248		

Увеличение средних значений в 1,5-1,9 раза и 95%-ных полсы рассеяния $\Delta X_{95\%}$ погрешностей зубчатого венца обусловлено погрешностью установки по деформированным зубьям венца при шлифовании отверстия.

Заводу предложено приспособление, в котором установка заготовки производится по шлифуемому отверстию и плоскому торцу, что обесп-

печивает наибольшую концентричность отверстия до и после шлифования. За счет этого повышается точность зубчатых колес-сателлитов на одну степень. Ввиду равномерного распределения припуска повышает-ся в 1,5 раза производительность шлифования баз.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате проведенного исследования сделаны следующие основные выводы:

1. Различие операций газовой цементации и закалки оказывает на точность конических зубчатых колес большее влияние, чем варианты конструкции деталей.

2. Экспериментально подтверждено предположение о существенном различии в деформации зубчатых колес и подобных им "беззубых" образцов. Поэтому исследование деформации зубчатых колес следует проводить либо на самих изделиях, либо на их зубчатых образцах-моделях, построенных с учетом требований физического моделирования, изложенных в данной работе.

3. Экспериментально доказана правомерность классификации цементованных конических зубчатых колес по признакам однотипности геометрической формы их тела и конусности зубчатого венца, определяющих идентичный характер деформации и коробления многих элементов зубчатых колес при газовой цементации и закалке.

4. Определена возможность использования зубчатых образцов-моделей взамен изделий для прогнозирования величины деформации и коробления при химико-термической обработке зубчатых колес. Это позволяет рассчитывать ожидаемые погрешности (допуски) цементованных зубчатых колес после свободной закалки и оценивать на простых и недорогих деталях-моделях технологичность опытных образцов зубчатых колес.

5. Колебание процентного содержания элементов химического состава стали 12ХНЗА в пределах, допускаемых ГОСТом 4343-61, в целом не оказывает существенного влияния на деформацию и коробление при закалке цементованных зубчатых колес. При этом основная доля общего влияния химостава сердцевины (22,7%) падает на марганец (6,8%), хром (10,6%) и углерод (4,1%).

6. Величина закалочного коробления не зависит от колеблемости характеристик структуры и фазового состава цементированного слоя в пределах фактической изменчивости технологических параметров газовой цементации и закалки деталей-моделей. Значительная средняя величина коробления торца — результат действия тепловых напряжений, обусловленных конструкцией деталей-моделей.

7. Практическое значение данной работы заключается:

а) в разработке метода расчета технологических допусков на параметры точности зубчатых колес, искажаемых химико-термической обработкой;

б) в разработке метода оценки технологичности опытных конструкций зубчатых колес с точки зрения их деформации при химико-термической обработке; оценки технологической эффективности закалочных штампов, оправок и других фиксирующих приспособлений для закалки зубчатых колес, приспособлений для шлифования закаленных зубчатых колес;

в) в разработке рекомендаций конструкторам по обеспечению тождественности закалочных деформаций сопрягаемых конических зубчатых колес с целью улучшения качества сопряжения зубьев без дополнительной механической обработки;

г) в разработке новой более совершенной и экономичной методики исследований деформации зубчатых колес, которая может быть использована для решения производственных задач и в научно-исследовательской работе;

д) результаты оценки влияния на точность размеров и формы цементованных зубчатых колес отдельных параметров газовой цементации и закалки, физических и структурных характеристик цементированного слоя могут быть использованы при регламентации параметров технологического процесса термического упрочнения зубчатых колес.

Разработанные на основе исследований практические рекомендации проверены в производственных условиях на Курганском заводе колесных тягачей и приняты для практического использования.

Для Минского тракторного завода выполнена исследовательская работа, в которой были использованы разработанные в данной диссертации методики исследования. В частности, дана оценка технологической

эффективности и предложены пути модернизации штампа для закалки ведомого конического колеса главной передачи. Условная годовая экономия от реализации предложений составляет 10 тыс. рублей.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Пономарев В.П., Мурзин В.А., Исследование деформаций зубчатых колес при химико-термической обработке. Труды УП Всесоюзной конференции "Надежность и качество зубчатых передач". НИИФОРМТЯЖ-МАШ, М., 1967.
2. Пономарев В.П., Мурзин В.А. Дисперсионный анализ изменения точности конических деталей при химико-термической обработке. Труды Курганского машиностроительного института. Вып. 6, Курган, 1967.
3. Пономарев В.П., Мурзин В.А. Двухфакторный дисперсионный анализ влияния конструктивных и технологических факторов на точность цементованных зубчатых колес. Труды Уральской Юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. Секция "Технология машиностроения", Курган, 1968.
4. Пономарев В.П., Мурзин В.А., Толмачевский Н.Н. Классификация зубчатых колес по технологической точности при химико-термической обработке. В кн. "Резание металлов и технологическая точность деталей в машиностроении". Ч. II, Курган, 1968.
5. Пономарев В.П., Мурзин В.А., Толмачевский Н.Н. Дисперсионный анализ влияния конструктивных параметров моделей на деформацию при химико-термической обработке. Там же.
6. Мурзин В.А. Применение статистического моделирования для оценки точности изготовления зубчатых колес. Там же.
7. Мурзин В.А., Пономарев В.П. Применение статистических методов и ЭВМ для исследования факторов деформации и коробления зубчатых колес при химико-термической обработке. Труды Курганского машиностроительного института "Вопросы технологии машиностроения". Вып. 9, Курган, 1969.
8. Пономарев В.П., Мурзин В.А., Толмачевский Н.Н. Экспериментальная оценка влияния конструкций на точность цементованных зубчатых колес. В сб. "Конструирование и расчет транспортных и тяговых машин". Южно-Уральское кн. изд-во, Челябинск, 1969.

9. Мурзин В.А., Статистический анализ факторов вариации размеров и формы поверхностей конических зубчатых колес в связи с газовой цементацией и закалкой. Труды 3-й научно-технической конференции УПИ. Вып. I. Свердловск, 1970.

10. Мурзин В.А., Пономарев В.П., Толмачевский Н.И., Глезер Г.Д., Торопов А.В., Кузь А.П. Влияние отдельных параметров термической обработки на точность зубчатых колес. "Металловедение и термическая обработка металлов", 1970, № 12.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СДЕЛАНЫ ДОКЛАДЫ НА СЛЕДУЮЩИХ КОНФЕРЕНЦИЯХ И СЕМИНАРАХ:

1. УП-я Всесоюзная конференция "Проблемы качества и надежности зубчатых передач". Саратов, политехнический институт, сентябрь, 1967.

2. Уральская Юбилейная научная сессия по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. Курган, Машиностроительный институт, октябрь 1967.

3. Научно-технический семинар зуборезов машиностроительных предприятий Среднего Урала "Пути повышения надежности и долговечности зубчатых передач". Свердловск, Дом техники, январь 1967.

4. 3-я научно-техническая конференция УПИ им. С.М. Кирова. Свердловск, февраль 1970.

5. Юбилейная научная сессия вузов Урала. Ижевск, механический институт, март 1970.

6. Научно-техническая конференция "Применение методов математической статистики в экономике и организации производства". Курган, Дом техники, ноябрь 1970.

7. Научно-технические конференции и семинары Курганского машиностроительного института, Курган, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971.

ОС 01872. Подписано в печать 21/4-72г

Тир. 200 экз. 2 726

Курганская городская типография