

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

*В.В. Непомилуев, д-р техн. наук, профессор,*

*Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск,*

*Е.Е. Цедейко, аспирант*

*Тутаевский филиал Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьёва,  
г. Тутаев, Россия*

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Распределительный вал является важной частью механизма газораспределения двигателя внутреннего сгорания и предназначен для передачи движения от коленчатого вала двигателя к клапанам.

Необходимое в определённые моменты открытие и закрытие клапанов обусловлено профилем и высотой кулачков распределительного вала, порядок расположения которых на валу связан с порядком работы цилиндров двигателя.

Профиль кулачка должен обеспечивать плавное перемещение клапана при достаточно быстром его открытии. Закрытие должно осуществляться при умеренных скоростях посадки клапана на седло. Всё это определяется формой профиля кулачка.

Распределительный вал относится к нежёстким деталям. Одной из главных проблем, возникающих при изготовлении распределительных валов, является то, что этот вал искривляется не только в процессе обработки, но и после её завершения, т.е. вал, соответствовавший всем требованиям и прошедший технологический контроль, через определённый интервал времени деформируется. Поскольку вал в двигателе устанавливается на опоры подобное искривление вала приводит к увеличению вибраций, нагрузок на опоры, их быстрому износу и, как следствие, к снижению качества двигателя.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Основной причиной деформаций является перераспределение технологических остаточных напряжений и наследственных напряжений заготовки при удале-

нии припусков и напряжений от температурно-силового воздействия обрабатывающего инструмента, причём, как правило, напряжения перераспределяются неравномерно.

Остаточными называют напряжения, которые существуют в материале заготовки при отсутствии воздействия внешних сил. Остаточные напряжения возникают в процессе выполнения предшествующей обработки и остаются после ее окончания.

Различают 3 вида остаточных напряжений [1]. Напряжения первого рода – макронапряжения, охватывающие области, соизмеримые с размерами детали; эти напряжения имеют ориентацию, связанную с формой детали; напряжения второго рода – микронапряжения, распространяющиеся на отдельные зёрна металла или на группу зёрен; напряжения третьего рода субмикроскопические, относящиеся к искажениям атомной решётки кристалла; ориентация их связана со структурой атомной решётки. Величина макронапряжений определяется прежде всего плотностью однородных дислокаций. Знак макронапряжений зависит от характера расположения однородных дислокаций по отношению к поверхности вала. Сжимающие макронапряжения возникают в случае преобладающего расположения у поверхности множества положительных дислокаций на параллельных плоскостях скольжения. Преобладающее расположение у поверхности отрицательных дислокаций способствует возникновению макронапряжений растяжения.

Наличие избытка дислокаций одного знака определяется не только схемой деформации, но и температурой, при которой происходит деформация, а также

составом сплава, определяющим склонность к поперечному скольжению.

По представлению физики твёрдого тела напряжения в металле или сплаве независимо от причин, их вызывающих, рассматриваются как следствие искажения кристаллической решётки. Физической моделью механизма образования технологических напряжений применительно к деталям, поверхностный слой которых деформирован в процессе механической обработки, в этом случае является атомная или дислокационная модель.

Микронапряжения – местные остаточные напряжения в микрizonaх. Они возникают в поликристаллических металлах в процессе деформации больших объёмов в результате взаимодействия зёрен между собой; зёрна в металле произвольно ориентированы и отличаются строением. К микронапряжениям относят также и напряжения внутри отдельного зерна, обусловленные мозаичностью его структуры – результат взаимодействия между отдельными блоками.

Микронапряжения являются следствием неоднородности физических свойств различных компонентов поликристалла, а также стеснённых условий деформации отдельного зерна и анизотропии свойств внутри его. Основными причинами возникновения микронапряжений являются фазовые превращения, изменения температуры, анизотропия механических свойств отдельных зёрен, границы зёрен и распад зерна на фрагменты и блоки при пластической деформации.

Фазовые превращения металла (в процессе его кристаллизации и остывания, термической обработки и распада твёрдого раствора), сопряжённые с увеличением или уменьшением объёма отдельных зёрен, порождают значительные межзёренные напряжения.

Наиболее существенное влияние на точность и другие эксплуатационные свойства оказывают напряжения первого рода.

Изучению влияния остаточных напряжений на прочность деталей посвящён ряд работ [1, 2, 3], при этом одни исследователи считают, что остаточные напряжения не оказывают заметного влияния на

прочность деталей, другие утверждают, что остаточные напряжения могут существенно влиять на прочностные и другие эксплуатационные характеристики, т.к. в ряде случаев они являются причиной возникновения технологических дефектов и разрушения.

Однако изучение и анализ имеющихся теоретических и экспериментальных работ показывают, что влияние остаточных напряжений на характеристики прочности металлов и их сплавов при статическом, динамическом и циклическом нагружении в зависимости от напряжённого состояния и условий работы детали может быть существенным и несущественным. Для различных условий работы в поверхностном слое целесообразно создавать или остаточные напряжения сжатия, или остаточные напряжения растяжения. Иногда поверхностный слой вообще не должен иметь остаточных напряжений.

В большинстве случаев остаточные напряжения возникают в условиях одновременного действия различных факторов: механических, тепловых и физико-химических [4, 5].

По месту залегания остаточные напряжения делят на распространяющиеся по всему объёму детали, так называемые внутренние напряжения, и остаточные напряжения в поверхностном слое [5]. Внутренние напряжения возникают при выполнении заготовительных процессов, связанных с нагревом и охлаждением металла (литьё, штамповка, сварка и т.п.). Например, при различной толщине стенок отливки, а также вследствие различия в условиях охлаждения имеет место неравномерность охлаждения отдельных частей отливки, что ведёт к возникновению остаточных напряжений, которые могут появиться в результате сопротивления материала форм и стержней усадке отливки. Основные пути уменьшения остаточных напряжений в литых заготовках – совершенствование их конструктивных форм и технологические мероприятия, обеспечивающие медленное и равномерное остывание всех частей заготовки.

Цель исследований. Целью исследований является разработка системного подхода к проектированию технологического процесса, который позволял бы

проектировать технологию изготовления с учётом множества различных и постоянно изменяющихся факторов: свойств материала, используемых методов обработки, инструмента, оборудования, требований к детали, её размеров, требований по качеству поверхности, условий работы детали для обеспечения стабильности остаточных напряжений.

Результаты исследований. Известно большое количество методов по обеспечению заданного уровня остаточных напряжений [6, 7, 8]: термическая обработка, пластическое течение, импульсная обработка вибрирующим роликом или бойком, возбуждение упругих колебаний, правка деталей, воздействие переменного магнитного потока, обработка взрывом, ультразвуковая обработка, воздействие импульсного тока, вибрационная обработка и другие. Наиболее полное устранение остаточных макронапряжений достигается при нагреве до температурного интервала начала рекристаллизации, но подобный нагрев приводит к практически полному разрушению микропластическим деформациям. Пластическое течение также не позволяет полностью избавиться от имеющихся в детали остаточных напряжений. Так, электрогидроимпульсная обработка дает снижение остаточных напряжений на 50–60 %; воздействие импульсного тока – на 30–50 %.

Однако при изготовлении распределительных валов требуется не обеспечить какой-либо уровень остаточных напряжений, а их минимальную разность на различных участках вала.

Проблема заключается в том, что остаточные напряжения заготовок постепенно перераспределяются под влиянием периодических колебаний температуры при небольших механических воздействиях (например, при транспортировке) и успокаиваются, вызывая остаточные деформации заготовок. Значительное перераспределение внутренних напряжений происходит при снятии слоев металла, содержащих напряжения, в процессе механической (особенно черновой) обработки. При этом возникают большие по величине деформации (коробление) деталей, характер и величина такой деформации зависит от эпоры остаточных на-

пряжений и их интенсивности перед механической обработкой [8].

Деформация распределительного вала из-за релаксации остаточных напряжений может происходить по двум причинам:

- 1) неравномерная релаксация остаточных напряжений;
- 2) релаксация остаточных напряжений, неравномерно распределенных по сечению детали.

Неравномерная релаксация возникает из-за неодинакового по объёму детали действия внешних факторов (например, температуры и нагрузки при эксплуатации, положение детали при хранении, усилия при сборке и т.д.), она приводит к искажению размеров и формы распределительного вала. В этом случае для того, чтобы вал длительно сохранял точность, необходимо, чтобы при изготовлении остаточные напряжения в поверхностном слое были минимальны. значение этой релаксации можно уменьшить, если ограничить действие упомянутых факторов. Например, транспортировка вала при его изготовлении в подвешенном вертикально состоянии обеспечивает равномерность его нагружения силами тяжести; вращение вала при его эксплуатации обеспечивает равномерность воздействия на него температурного и гравитационного полей и т.д.

Поэтому для распределительного вала более важной будет вторая причина коробления – релаксация остаточных напряжений, неравномерно распределенных по сечению детали.

Остаточные напряжения, возникающие при механической обработке, практически всегда неравномерно распределяются по объёму вала по ряду причин:

- 1) нестабильность силы резания и температуры в зоне резания вследствие колебания величины снимаемого припуска, физико-механических и теплофизических свойств материала (твердости, прочности, теплопроводности и т.д.) из-за разного структурно-фазового и химического состава, исходной термообработки;
- 2) наличие неравномерных остаточных напряжений, унаследованных от предшествующей обработки.

Обеспечение равномерности распределения остаточных напряжений по сечению вала вызывает большие затруднения. Существуют адаптивные системы управления процессом обработки с поддержанием постоянной силы резания [9] и постоянной температуры резания [8]. Выполненная В.Ф. Безъязычным и Т.Д. Кожиной работа [9] позволила решать проблему управления процессом обработки с учетом одновременного воздействия на поверхностный слой как теплоты, так и сил резания с целью обеспечения заданной точности обработки и качества поверхностного слоя (остаточных напряжений, степени и глубины наклепа, шероховатости).

Однако величина остаточных напряжений, получаемых на данной операции, зависит от большого количества факторов, многие из которых носят случайный характер, например, величина снимаемого припуска и микротвердость в различных точках обрабатываемой поверхности, остаточные напряжения, унаследованные от предшествующих этапов изготовления детали и т.д. Поэтому даже использование наиболее быстродействующих адаптивных систем управления, способных, например, реагировать на колебания величины снимаемого припуска в течение одного оборота обрабатываемой заготовки, изменяя какие-либо параметры процесса обработки для поддержания на заданном уровне получаемых остаточных напряжений, не решает полностью задачу, поскольку в заготовке могут быть неравномерные остаточные напряжения от предшествующих этапов.

**Выводы.** Большая часть методик по определению остаточных напряжений основана на использовании степенных зависимостей, при расчёте по которым возникает проблема стыковки отдельных участков графиков, что не позволяет использовать данные методики без доработки их.

Известные теоретические зависимости, как правило, не учитывают весь комплекс взаимозависимых величин, не изучены вопросы комплексного влияния параметров процесса резания на качество поверхностного слоя, точность обработки и эксплуатационные свойства деталей.

Многочисленные варианты выполнения операций механической обработки распределительных валов

требуют нахождения общих решений вышеуказанной проблемы.

Системный подход как раз и позволит решить вышеуказанные проблемы. Он предусматривает широкое использование ЭВМ для управления процессом механической обработки с целью обеспечения требуемых характеристик поверхностного слоя и точности обработки. Необходимо создать математическое описание технологических процессов как объектов управления с учётом влияния различных факторов и последних достижений науки и техники.

### Литература

1. Технологические остаточные напряжения / Под ред. А.В. Подзея.- М.: Машиностроение, 1973.- 216 с.
2. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов.- М.: Машгиз, 1962.- 250 с.
3. Макклинток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение металлов.- М.: Мир, 1970.- 444 с.
4. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах.- М.: Машгиз, 1963.- 400 с.
5. Биргер И.А. Остаточные напряжения.- М.: Машгиз, 1963.- 232 с.
6. Головин Г.Ф. Остаточные напряжения и деформации при поверхностной высокочастотной закалке.- М.-Л.: Машгиз, 1962.- 104 с.
7. Иващенко И.А. Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 1981.- 224 с.
8. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах.- М.: Металлургия, 1972.- 304 с.
9. Безъязычный В.Ф., Кожина Т.Д. Оптимизация технологических условий механической обработки деталей авиационных двигателей.- Рыбинск: РГА-ТА, 1993.- 222 с.

*Поступила в редакцию 05.05.03*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; канд. техн. наук, Главный конструктор, доцент А.В. Белогуб, ОАО «АВТРАМАТ», г. Харьков.