

## К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Скуратов Д.Л., Трусов В.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Высокий уровень проектно-конструкторской разработки двигателя, хорошие результаты его экспериментальной отработки еще не гарантируют надежной работы в эксплуатации, если при изготовлении двигателя не будет обеспечена его высокая надежность.

Доля отказов в эксплуатации машин различных типов по производственно-технологическим причинам составляет в среднем величину, по данным Акимова М.В. [1], порядка 35%. Дж. Л. Маршик называет даже цифры 40...85%. При производстве ГТД эта величина по оценке Чиканова А.М. составляет около 30%. Таким образом, в лучшем случае примерно третья часть всех отказов вызывается причинами производственного характера.

Обеспечение надежности газотурбинных двигателей при производстве связано с двумя группами вопросов. Во-первых, это вопросы совершенствования технологических процессов, в первую очередь в направлении получения высокой усталостной прочности и долговечности изготавливаемых деталей, особенно за счет оптимальных качеств поверхностного слоя, существенно влияющих на выносливость и другие прочностные характеристики деталей ГТД. Во-вторых, это вопросы повышения точности и стабильности на всех этапах процесса производства, в том числе методы контроля качества и регулирования стабильности технологических процессов.

Вопросы совершенствования технологических процессов в плане повышения прочностных характеристик деталей актуальны для газотурбинных двигателей в связи с тем, что значительная часть отказов ГТД связана с поломками высоконагруженных элементов конструкции.

Разные типы отказов - досрочный съем двигателя (д.с.д.), отказ устраняемый в эксплуатации (о.у.э), отказ ведущий к невыполнению задания, по разному распределяются среди элементов двигателя. В двигателях с редукторами, например, ТВД, значительный процент д.с.д. (до 30% и даже выше) определяется отказами элементов редукторов, в частности выкрашиванием поверхностей зубьев зубчатых колес силовых редукторов ГТД и коробок приводов агрегатов. Выкрашивания зубьев чаще всего вызываются или монтажными (или технологическими в процессе изготовления деталей) перекосами сопряженных деталей редукторного узла, или шлифовочными прижогами поверхностей зубьев.

Максимальная доля отказов, происходящих в процессе работы ТРДД и ТРДФ, связана с отказами системы регулирования и топливопитания. В табл.1 приведено распределение всех видов отказов для нескольких типов ТРДД и ТРДФ [1].

Таблица 1

Примерное распределение всех отказов для нескольких типов ТРДД и ТРДФ

Система регулирования и топливопитания	15...53%
Система смазки, подшипниковые узлы	1,5...28,5%
Система запуска	2...20%
Компрессор	2...16%

Отказы элементов системы регулирования топливопитания весьма разнообразны как по причинам, так и по их последствиям. Причем большая часть отказов зависит от надежности элементов системы, которая в свою очередь определяется совершенством технологического процесса и, в частности, влиянием процесса механической обработки на точность изготовления деталей и качество поверхностного слоя [2].

Отказы узлов опор, системы смазки составляют значительную часть всех отказов ГТД. Некоторые из этих отказов достаточно опасны, например, разрушения подшипников. Причинами отказа может служить разрушение сепараторов, выкрашивание дорожек колец подшипника вследствие наличия шлифовочных прижогов и т.д. Такого рода отказы сразу проявляются в процессе работы двигателя (по росту температуры масла, вибрациям, показаниям сигнализатора стружки в масле) и требуют немедленного выключения двигателя.

Важным направлением в повышении точности и стабильности технологических процессов изготовления деталей ГТД является применение технологических запасов, которые призваны обеспечивать гарантированное получение в процессе производства заданных значений конструктивных параметров. Достигаются технологические запасы назначением производственных допусков, меньших, чем

конструктивные допуски, и таким проектированием технологических процессов, при котором между возможным с учетом всех производственных погрешностей отклонением конструктивного параметра и его регламентированным значением оставался бы некоторый запас. В связи с возможными неточностями контроля, не всегда контролируемым снижением точности оборудования желательность технологических запасов очевидна. Однако здесь должен быть найден разумный компромисс в связи с ограниченными технологическими возможностями и снижением экономичности производства. Технологические запасы следует давать на наиболее важные геометрические параметры, отклонение которых за границы поля допуска влияет на надежность двигателя.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, главной задачей любого технологического процесса является изготовление деталей высокого качества, т.е. таких, состояние поверхностного слоя и заданная точность которых стабильно отвечает техническим требованиям.

Хотя на формирование поверхностного слоя деталей и оказывает влияние технологическая наследственность предыдущих операций, вместе с тем наибольшее влияние на этот процесс оказывают финишные методы обработки, к которым относятся процессы тонкого точения, шлифования и т.д.

При управлении обработкой резанием приходится решать сложнейшую задачу оптимизации, противоречащую по своему содержанию: необходимо увязывать качество обработки с экономическими критериями.

Процесс резания можно рассматривать как сложный физико-химический механизм взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в условиях рассеивания всех составляющих элементов технологической системы. Параметры, определяющие процесс резания, можно разделить на входные, функциональные и выходные. Входные параметры подразделяются на определяющие, управляемые и возмущающие [3].

К определяющим параметрам относят марку обрабатываемого материала, выбранный вид и метод механической обработки, требования к состоянию поверхностного слоя (наклепу, остаточным напряжениям, структуре материала), точности обработки, шероховатости поверхности и некоторые другие параметры.

Управляемые или контролируемые параметры включают в себя параметры, которые допускают целенаправленный выбор при проектировании технологического процесса или их изменение в ходе обработки [3]. Управляемыми параметрами являются модель станка, марка инструментального материала или характеристика шлифовального круга, тип, конструкция и геометрия режущего инструмента, режим обработки, состав, способ и интенсивность подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства и т.д.

К возмущающим параметрам процесса резания можно отнести явления носящие случайный характер и вызываемые неконтролируемыми изменениями физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска, статические и динамические характеристики технологической системы в целом.

К числу выходных, или вторичных, параметров процесса резания относят состояние поверхностного слоя, точность, производительность, энергоемкость и т.д.

Схематически процессы финишных методов механической обработки, как системы взаимодействия рассмотренных параметров, приведен на рис. 1.

Рассматриваемая модель дает возможность прогнозировать выходные параметры процесса резания через функциональные связи с определяющими, управляемыми и возмущающими параметрами. При этом формализация взаимосвязи является следствием раскрытия физического механизма резания.

В условиях, когда взаимодействие элементов технологической системы подвержено действию контролируемых возмущающих факторов, процесс резания сопровождается рассеиванием во времени функциональных и выходных параметров обработки. Поэтому его необходимо анализировать как стохастический процесс и соответственно определять оптимальные пути повышения стабильности его выходных параметров.

Качество и надежность управления стабильностью обработки зависят от числа и значимости управляемых параметров и степени их влияния на функциональные параметры. Чем выше степень влияния управляемых параметров на процесс обработки, тем надежнее управление и выше стабильность выходных параметров процесса. Чем больше включается в управление значимых параметров резания на стадии его проектирования, тем выше гарантия эффективности технологического процесса.

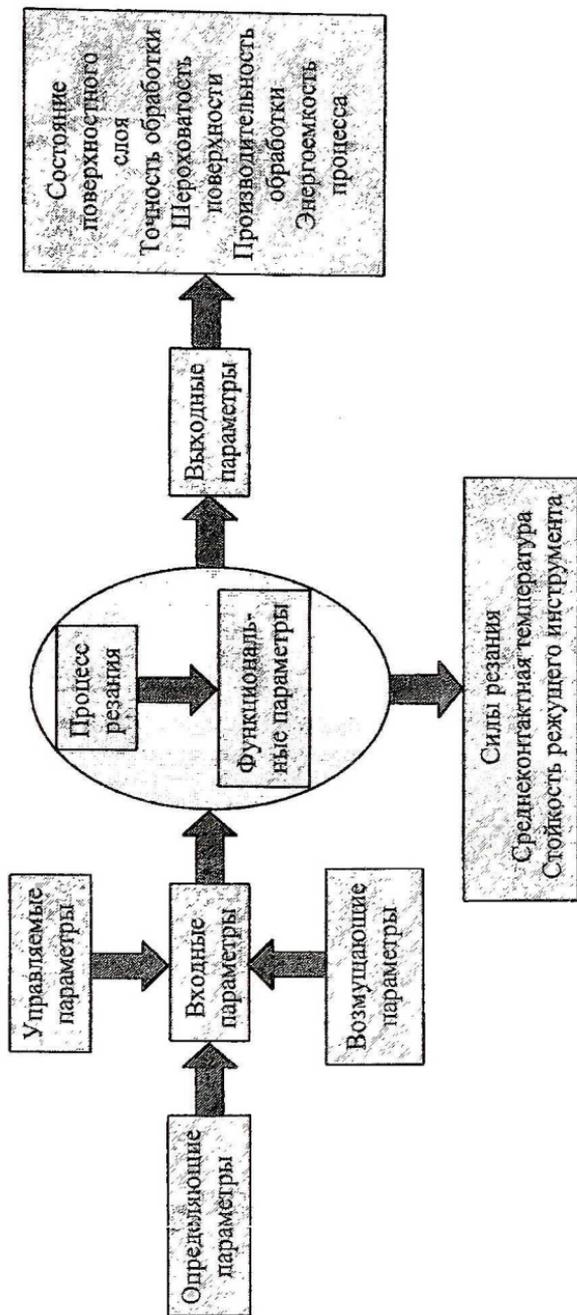


Рис. 1. Структурная модель финишных методов механической обработки

Стабильность выходных параметров обусловлена стабильностью функциональных параметров, величина и характер рассеивания которых определяется интенсивностью и стабильностью физико-химических явлений, протекающих в зоне обработки.

В большинстве случаев при определении оптимальных режимов резания целью оптимизации должно быть получение минимальной

себестоимости операции. Как правило, вариант режимов резания обеспечивающий наименьшее штучное время, вместе с тем является и наиболее экономичным вариантом. Имея в виду, что решение задачи при целевой функции, содержащей условие минимального времени, оказывается более простым, чем при целевой функции, содержащей условие наименьшей себестоимости, а результаты в обоих случаях достаточно близки, целесообразно за основу оптимизации режимов резания на финишных операциях принять достижение наибольшей производительности процесса [4].

Учитывая, что обеспечение надежности газотурбинных двигателей связано с повышением усталостной прочности и долговечности деталей, а также с вопросами повышения точности и стабильности на всех этапах процесса производства, то технические ограничения, налагаемые на режим резания требованиями к изделию, должны, на наш взгляд, обязательно включать: предельно допустимую высоту микронеровностей, определяемую параметрами  $R_a$  или  $R_z$ ; максимально допустимый прогиб технологической системы, допускаемый заданной точностью обработки; предельно допустимую величину среднетемпературной температуры, исключающей возможность возникновения структурно-фазовых изменений в поверхностном слое, и заданную величину остаточных напряжений.

Известно, что поверхностный слой формируется в процессе изготовления детали и характеризуется деформационным упрочнением (разупрочнением), остаточными напряжениями и микрорельефом. Наиболее сильное влияние на усталостные характеристики оказывают деформационное упрочнение и остаточные напряжения [5]. Оба эти фактора взаимосвязаны и действуют одновременно. Тем не менее влияние каждого фактора в отдельности имеет свои специфические особенности. В настоящее время твердо установлено, что сжимающие остаточные напряжения повышают предел выносливости, а растягивающие снижают. Если сопоставить влияние деформационного

ючения и остаточных напряжений на циклическую прочность, то аточные напряжения оказывают превалирующее влияние.

Механизм формирования остаточных напряжений при обработке деталей резанием отличается известной сложностью. аточные напряжения в поверхностном слое детали формируются ( воздействием силового и температурного факторов при инирующем влиянии первого, если в поверхностном слое абатываемой поверхности не возникают условия, приводящие к уктурно-фазовым изменениям. Установлено [5], что при обработке опластичных материалов в окружном и осевом направлениях будут рмироваться остаточные напряжения сжатия, а при обработке астичных материалов, соответственно, остаточные напряжения атяжения и сжатия. Поэтому при оптимизации процессов резания в нестве технологических ограничений могут быть использованы либо едельно допустимые значения осевых и окружных остаточных пряжений, либо только осевых и только окружных, что зависит от ловий эксплуатации и характера нагружения деталей.

При оптимизации режимов резания в качестве одного из хнических ограничений, особенно при шлифовании, используется едельно допустимое значение среднеконтактной температуры. ричем за предельное значение среднеконтактной температуры нередко инимается значение одной из критических точек температурного лотропического изменения материала детали ( $A_{C1}$  или  $A_{C3}$ ) [6,7]. аднако данную температуру для процесса оптимизации можно спользовать лишь в первом приближении и в основном для лезвийной аработки, так как при высоких скоростях нагрева и охлаждения роисходит образование метастабильных структур. Например, при коростях нагрева и охлаждения ( $10^5-10^8$  °C/c [8,9]) характерных для лифования, происходит образование метастабильных структур, оложение критических точек у которых может существенно смещаться о сравнению с известными диаграммами равновесия. Так, по данным второв работ [10], увеличение скорости нагрева закаленных сталей риводит к понижению критической точки  $A_{C1}$ . Поэтому в этом случае еобходимо пользоваться метастабильными диаграммами состояния атериалов.

Таким образом, исходя из вышеизложенного следует отметить, то оптимизацию процессов резания следует вести по максимальной роизводительности при технических ограничениях, позволяющих

обеспечить требуемую точность и заданное состояние поверхностного слоя и, как следствие, повысить надежность и ресурс деталей и ГТД в целом.

### Список литературы

1. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1981. 207 с.
2. Основы создания агрегатов автоматики пневмогидравлических систем аппаратов и двигателей. Часть 1. Обеспечение конструкторской надежности и технологичности агрегатов / А.Н. Евстигнеев, А.Е. Жуковский, В.М. Квасов, Ю.И. Кондрашов, А.Ф. Малеев, Е.В. Шахматов, Г.В. Шестаков.- Самара: НПО "Импульс", 1993. 375 с.
3. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве.- М.: Машиностроение, 1989. 296 с.
4. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. / Под ред. А.Н. Резникова.- М.: Машиностроение, 1977. 391 с.
5. Кравченко Б.А. Теория формирования поверхностного слоя деталей машин при механической обработке.- Куйбышев: КПТИ, 1981. 90 с.
6. Ящерицын П.И., Цокур А.К., Еременко М.Л. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей.- Минск: Наука и техника, 1973. 184 с.
7. Носов Н.В. Повышение эффективности и качества абразивных инструментов путем направленного регулирования их функциональных показателей: Дис. ... док. техн. наук. Самара, 1997. 572 с.
8. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования.- Саратов: Саратов. ун-т, 1978. 128 с.
9. Скуратов Д.Л. Повышение эффективности внутреннего круглого шлифования кругами с прерывистой режущей поверхностью деталей авиационных ГТД из жаропрочных, высокопрочных сталей и титановых сплавов: Дис. ... канд. техн. наук. Самара, 1991. 274 с.
10. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности.- М.: Машиностроение, 1978. 167 с.