

УДК 621.7:621.43

Г.И. Пейчев, глав. инж., Э.В. Кондратюк, С.Д. Зиличихис  
ГП «Ивченко-Прогресс», г.Запорожье, Украина

## ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

---

*Розглянуто проблеми сучасного авіадвигунобудування і їх рішення, описані шляхи і методи скорочення термінів створення нової техніки і зниження трудомісткості.*

*There were considered some problems of modern aircraft engine building and their decisions, described the time reducing method of new technique developing and production costs decreasing.*

---

В настоящий момент Предприятие ГП «Ивченко-Прогресс» имеет широкое признание и газотурбинные двигатели (ГТД) нашей разработки эксплуатируются в 80 странах.

Коллективу приходится работать с учетом требований и заказов рынка, однако при этом не хватает государственного финансирования, которое так необходимо наукоемкому производству. Коллективу предприятия удалось отыскать свою экономическую нишу, которая помогла выстоять предприятию в сложных условиях. Результатом нового подхода стала модернизация двигателей, продукции их использованного цикла.

Несмотря на ограниченные производственные площади, отсутствие средств на коренную реновацию производства, на предприятии продолжают работать по новой тематике. Разработано новое семейство двухконтурных турбореактивных двигателей АИ-222-25 для учебно-боевых самолетов, в том числе двигатель с форсажной камерой АИ-222К-25Ф, семейство двигателей модульной конструкции Д-436, Д-436-ГП, в том числе двигатель Д-436-148 для самолета АН-148, турбовинтовой двигатель Д-27 для самолета АН-70. Среди двигателей меньшей размерности следует выделить двигатель АИ-450. Из наземной тематики - установку для тушения пожара АИ-19ГИГ (генератор инертных газов) и передвижную электростанцию АИ-2500 [1].

Рыночные отношения требуют сокращения сроков, необходимых для проектирования и изготовления новых изделий; расширение номенклатуры выпускаемых изделий требуют решение технологических задач, связанных с организацией гибких производственных систем и, прежде всего в системе технологической подготовки производства (ТПП).

Ранее, при государственном финансировании предприятия система ТПП представляла собой последовательное выполнение действий связанных с планированием, технологическим анализом конструкторской документации, анализом существующих мощностей и площадей, наличием технологических процессов, оборудованием и оснасткой, определением возможности получения комплектующих

изделий, определением возможности закупки материалов, организации рабочих мест и т. д. [2].

В условиях динамически изменяющихся требований рынка и жесткой конкуренции, когда ключевыми факторами успеха производства являются качество и надежность продукции, а также временной фактор, специалисты предприятия ищут пути сокращения сроков создания новой техники и снижения ее трудоемкости.

В первую очередь необходимо сократить сроки разработки технологических процессов и проработки конструкторской документации. Проектирование деталей и сборочных единиц проходит в сотрудничестве конструктора и технолога, так, еще на стадии разработки вся конструкторская документация подвергается технологическому анализу с точки зрения технологичности конструкции.

Рассматриваются возможности оптимальных затрат труда, средств и материалов. Решаются вопросы ремонтпригодности и модульности конструкции.

Для организации обмена данными, чертежами, моделями между научно-исследовательским отделом и технологическими службами предприятия организована корпоративная информационная сеть. В распоряжении конструкторов и технологов находятся многофункциональные компьютерные системы AutoCad, Unigraphics, PSI5D, RCS. Использование этих систем позволяет реализовать сквозные проекты подготовки производства деталей, и соответственно сократить время, затрачиваемое на ТПП. Для уменьшения трудоемкости изготовления двигателя и увеличения производительности необходимо создавать комплекс единых информационных моделей, описывающих изделие, производство и эксплуатацию.

Вторым значительным шагом за экономию и бережливость было урегулирование поставок материалов и комплектующих, их учет и хранение. Компьютерные базы данных позволяют оперативно вести учет и перемещение материалов, комплектующих изделий, инструмента, топлива и др., при этом позволяют обоснованно ограничить и сократить номенклатуру и сортамент закупаемых материалов в соответствии с производственной необходимостью. Пересмотрены нормы вспомогательных материалов, а невостребованные материалы исключены из ведомостей.

Одним из примеров высоких технологий является лазерная размерная обработка. Лазерная резка металлов позволяет относительно просто, в автоматическом режиме, изготавливать сложные детали из листовых материалов. Лазерная резка экономически выгодна и технически целесообразна из-за гибкости процесса и исключения подготовительных работ, присущих традиционной технологии – штамповке.

Основные направления применения лазерной размерной технологии на предприятии:

- раскрой листовых материалов;
- изготовление перфорации в различных элементах ГТД;
- выполнение просечек под лопатки в кольцах направляющих аппаратов;
- обработка резинотехнических и композиционных материалов.

Из опыта предприятия установлено, что при проектировании техпроцесса целесообразно закладывать лазерную резку при изготовлении партии деталей до 500

штук. При больших партиях получение деталей выполняется по традиционной технологии – штамповкой, с проектированием и изготовлением всей необходимой оснастки. В настоящее время, после модернизации лазерного комплекса ГПЛТ-100 обрабатываются листовые материалы толщиной до 3-х мм. Проведен большой объем исследовательских работ по влиянию лазерной резки на эксплуатацию деталей.

Также на предприятии получило широкое применение лазерное маркирование (фото 1), при котором положительными факторами являются отсутствие необходимости применения дорогостоящей оснастки и инструмента; бесконтактность, минимальное воздействие на поверхность детали; возможность использования различных режимов для обеспечения технических требований чертежа, так, например, получение различной глубины маркирования (например, для нержавеющей и титановых сплавов – от 4 мкм, для алюминиевых – от 10 мкм), что подтверждается проведенными исследовательскими работами; возможность применения различных шрифтов (от 0,8 мм), что практически невозможно обеспечить традиционными методами маркирования.



Фото 1 Лазерный маркировщик



Фото 2 Обработка центр фирмы Starrag ZS500/130

Несмотря на использование нового оборудования (установки УВНК8) и высокие технологии, ТПП литейного производства газотурбинных лопаток двигателей (ГТД) по выплавляемым моделям из никелевых жаропрочных сплавов остается очень трудоемким процессом.

Возникающие вопросы на всех стадиях подготовки и организации литейного производства требуют системного подхода к их решению:

- при проектировании и разработки конструкторской документации;
- при разработке технологических процессов;
- при вводе в действие технологического оснащения;
- при техническом обслуживании оборудования;
- при процессе изготовления изделия;

– при формировании и обеспечении эффективности работы системы менеджмента качества литейного цеха и других подразделений.

Решение этих и других вопросов привели к созданию механо-литейно-термического комплекса (МЛТК). В комплекс вошли: литейный, термический и механосборочный цеха изготовления лопаток ГТД.

Концентрация производства (МЛТК) основных деталей ГТД, лопаток турбины и компрессора, а также моно колес позволила:

- более рационально использовать загрузку термических печей;
- наладить стабильную работу механических участков комплекса;
- совершенствовать планирование выполняемых работ;
- вести ТПП последовательно-параллельным методом на основе системы автоматизированного проектирования (САПР) [5].

Для производства сложнофасонной оснастки, в т.ч. модельных пресс-форм, производство было дооснащено высокоточным фрезерным станком фирмы Starrag CF 100 для изготовления электродов и высокоэффективными эрозионными станками с ЧПУ фирмы AGIE для прожига деталей. Система оснастки «3R» позволяет без дополнительного оснащения изготавливать электрод на фрезерном станке CF 100 и позиционировать его на электроэрозионных с точностью до 0,01 мм. Отпадает необходимость в специальной оснастке и кондукторах.

Все станки с ЧПУ были оборудованы программным загрузочным устройством (ПЗУ). Система числового программного управления станками модернизирована на базе персональных компьютеров и имеют возможность не только управлять станком, но и осуществлять хранение, редактирование, систематизирование управляющих программ. В корпоративной сети предприятия оператор имеет возможность обмениваться информацией с программистом.

Компьютерная поддержка проектирования, наличие систем UNIGRAPHICS; CAD/CAM, создание твердотельных моделей [5] позволили создать замкнутый технологический цикл проектирования и изготовления стержневых и модельных пресс-форм, а также сложно-профильной оснастки (штампов) для воспроизводства лопаток ГТД.

С момента согласования технологических требований к отливке рабочей лопатки турбины до сдачи готовой пресс-формы в литейный цех затрачивается в среднем 3 месяца [6].

В структуре общей трудоемкости формообразования и сборки ГТД наибольший удельный вес занимает механообработка, а среди групп деталей наибольшая трудоемкость приходится на производство лопаток компрессора и турбины от 22% до 30% от общей трудоемкости изготовления двигателя [8].

Одним из перспективных направлений, решения проблемы повышения эффективности механической обработки в производстве лопаток компрессора и моноколес, является внедрение технологии скоростного фрезерования. Эффективное применение методов скоростной обработки невозможно без высокотехнологичного оборудования.

Приобретение обрабатывающих центров фирмы Starrag ZS500/130 (фото 2) и SX051B/C позволили не только повысить эффективность механической обработки трудно обрабатываемых материалов, но и решать проблему изготовления лопаток компрессора и моноколес, ускорить ТПП, создать еще несколько гибких производственных моделей.

Пример. Трудоемкость изготовления центробежного колеса, сплав ЭЖ-79, составляет 1400 н/ч, при высокоскоростном фрезеровании – 200 н/ч.

Не имея своего заготовительно-штамповочного производства, предприятию приходилось приобретать заготовки лопаток со стороны, а часто и изготавливать штампы и оснастку второго порядка для модифицированных лопаток компрессора.

Обрабатывающий центр Starrag SX-051 позволяет:

- обрабатывать широкую гамму лопаток компрессора;
- отказаться от традиционной технологии изготовления лопаток компрессора методом холодного вальцевания.

В том числе проведена исследовательская работа по усовершенствованию процесса для повышения усталостной прочности деталей.

Пример. Лопатку вентилятора длиной 450мм и хордой 270мм. Использовать при этом любую заготовку от прутка до точной штамповки.

Оснащенность станков измерительной головкой Renishaw дает возможность отказаться от проектирования контрольной оснастки. Это существенно сокращает сроки изготовления опытных модификаций лопаток.

Программы обеспечения станков системы RCS и PSI 5D позволяет:

- разрабатывать управляющие программы для обработки профилей лопаток, хвостовиков лопаток типа «ласточкин хвост» с плоскими и кольцевыми поверхностями моноколес;
- через формат интерфейса обращаться к базе данных твердотельной модели в системе UNIGRAPHICS;
- наглядность визуализации траекторий движения инструмента.

Важным звеном технологического процесса изготовления деталей сложного профиля являются контрольные операции. Так, при изготовлении, а также для входного контроля деталей сложного профиля (диски, моно и центробежные колеса, зубчатые колеса и др.) используется координатно-измерительная машина фирмы Wenzel (фото 3).

Эффективное использование своевременного автоматизированного оборудования возможно при применении режущего инструмента из твердого сплава.

На предприятии организован участок централизованного изготовления и переточки фрез, используемых на обрабатываемых центрах Starrag, Huron. Анализ работ участка осуществляется с учетом загрузки обрабатывающих центров. Участок оснащен отечественным оборудованием и станком фирм Walter (фото 4), SCHNEEBERGER GEMINI.

Для увеличения ресурса применяются различные методы упрочнения поверхности.



Фото 3 Координатно-измерительная машина



Фото 4 Заточной станок Helitronic Power Regrinder

Внедрение высоких технологий невозможно без привлечения специализированных научных организаций [4]. Технологические службы отдела главного технолога и отдела главного металлурга постоянно сотрудничают со Всесоюзным институтом авиационных материалов (ВИАМ), Центральным институтом моторостроения (ЦИАМ), Украинским научно-исследовательским институтом авиационной технологии и организации производства (УКРНИАТ), Национальным Техническим Университетом «КПИ», Украинским институтом УкрНИИ СПЕЦСТАЛЬ, институтом электросварки им. Е.О. Патона, Запорожским национальным техническим университетом. Работы ведутся по таким основным направлениям, как технология композитных материалов, технологии теплозащитных покрытий рабочих лопаток турбины высокого давления, автоматизация литейного производства, автоматизированное проектирование производства, технологии лазерной обработки, технологии пайки и сварки и др.

Завершающим этапом производства являются стендовые испытания двигателя.

В процессе стендового испытания двигателя необходимо получить полную и достоверную информацию о его параметрах. Это достигается за счет автоматизации процессов испытания на базе средств вычислительной техники. Автоматизированы стенды для испытания двигателей Д27, 436Т, АИ-222-25, АИ-222К-25Ф, АИ-450. Диагностическая аппаратура позволяет считывать до 700 контролируемых параметров на установившихся и переходных режимах работы двигателя.

Дальнейшее развитие систем стендовых испытаний двигателей направлено на улучшение и расширение диагностики, сбора и хранения информации.

В настоящий момент предприятие работает над созданием новых авиационных двигателей и изделий наземной тематики и одновременно занимается продлением ресурсов ранее разработанных изделий. В этой связи проблемы управляемости технологическими процессами, правильность их выбора определяет всю совокупность

нормируемых показаний качества. Разработаны мероприятия и проводятся работы по внедрению систем:

- Techcard – предназначена для комплексной автоматизации ТТП;
- Search – предназначена для создания и внедрения архива технологической документации и управления его документооборотом;
- IMBASE – управление справочными данными.

#### Список літератури

1. Лідери XXI століття. ГП ЗМКБ «Прогрес» ім. академіка А.Г. Івченко, - стр 11
2. Балабанов А.Н., Канарчук В.Е. Справочник технолога мелкосерийных и ремонтных производств. - стр.13
3. Мямица А.К. Технологическая подготовка производства мотогондолы самолета АН 74ТК-300 на базе оборудования с ЧПУ и аналитических эталонов. - Вестник двигателестроения №1/2003, стр. 13
4. Жеманюк П.Д., Мозговой В.Ф., Мигунов В.М. Направления и этапы сотрудничества технологической службы завода с НИИ, ОКБ и другими разработчиками новых технологий, - Технологические системы №3/2001, стр.18
5. Авиастроение. Качество, сертификация и лицензирование. /Под редакцией д.т.н. Безъязычного В.Ф., - М. Машиностроение 2003, стр. 302, 357
6. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей. /Под редакцией Братухина А.Г., Язова Г.К., Карасева Б.Е., - М. Машиностроение 1977, стр. 62, 359
7. Старик Д.Э., Парамонов Ф.И., Бугаков И.И. Экономика, организация и планирование авиационного производства, - М. Машиностроение 1976, стр. 176
8. В.В. Крымов. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора технических наук, - Москва 1999, стр. 4

#### УДК 621.9

**Ю.Н. Внуков, д-р техн.наук, проф., А.Г. Саржинская, асп.**  
Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА СО СТРУЖКОЙ НА УДЕЛЬНУЮ СИЛУ ТРЕНИЯ**

---

*Розглянуто залежність питомої сили тертя від параметрів процесу різання. Наведено опис експериментів, які демонструють незалежність величини  $q_F$  від температури контакту, адгезійної та рельєфної активності інструмента та розміру карбідної фази в заданому діапазоні температур та швидкостей обробки.*

*Cutting process parameters dependence of specific friction force is considered. The description of experiments showing  $q_F$  amount independence from contact temperature, adhesion and relief activity of cutting tool and carbide phase extent at given temperature and cutting speed range is adduced.*

---

Система сил, действующих на инструмент, является замыкающим звеном сложной многокомпонентной системы процесса резания, охватывающей большое количество взаимосвязанных факторов, начиная контактными процессами в зоне резания и заканчивая механизмами станка и точностью получаемых после обработки деталей. Поскольку современный уровень развития вычислительной техники и