

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЧНЫХ ЗАГОТОВОК КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГТД НА ОАО "МОТОРОСТРОИТЕЛЬ"

© 2006 М.Ш. Калимулин, Г.И. Комар, Ю.Н. Краснов, Р.Р. Орлов, И.Л. Шитарев

ОАО "Моторостроитель", г. Самара

В статье приведены результаты работы специалистов открытого акционерного общества "Моторостроитель" по разработке, совершенствованию и внедрению технологических процессов и оборудования для изготовления точных заготовок лопаток компрессоров газотурбинных двигателей. Дан анализ прогрессивных технологических процессов получения заготовок (изотермическая штамповка, штамповка в режиме сверхпластического деформирования, высокоскоростная штамповка). Приведены технико-экономические показатели высокоскоростной штамповки по сравнению с традиционной объемной штамповкой.

Современные экономические условия привели к значительному сокращению объемов производства авиационных двигателей. В месте с тем широкое применение получило использование модификаций авиационных двигателей для работы на земле в качестве приводов энергетических установок (электростанции, газоперекачивающие агрегаты и т.п.). К наземным газотурбинным двигателям (ГТД) предъявляются особые требования: повышение КПД; пятикратное увеличение ресурса (до 100 000 часов и более); повышение эрозионной и коррозионной стойкости его деталей; улучшение шумовых и вибрационных характеристик; повышение экологичности и т.д.

Подготовка производства лопаток ГТД и ее эффективность занимают одно из важнейших мест в организации производства газотурбинных двигателей, в связи с особенностями их изготовления: массовостью, значительным объемом в общей трудоемкости изготовления двигателя, большой номенклатурой и высокими требованиями по качеству.

Для удовлетворения предъявляемым к ГТД требованиям конструкция лопаток компрессора усложняется, для их изготовления применяются более качественные материалы. Сложность геометрической формы, применение труднодеформируемых и труднообрабатываемых материалов обуславливают низкий коэффициент использования металла (КИМ) и большую трудоемкость изготовления (до 35 % от об-

щей трудоемкости изготовления ГТД).

Традиционные технологические процессы изготовления точных заготовок лопаток на большинстве предприятий отрасли, как в России, так и за рубежом, включают в себя несколько деформирующих операций (предварительное фасонирование, штамповка, калибровка, обрезка облоя) с многократным нагревом заготовок, что приводит к образованию дефектного слоя на заготовках и большим потерям металла в облой и окалину.

Применение более прогрессивных технологических процессов, таких как изотермическая штамповка (ИЗШ), штамповка в режиме сверхпластического деформирования (СДП), высокоскоростная штамповка (ВСШ) позволяют повысить точность штамповок и увеличить КИМ.

Краткая характеристика технологических процессов получения точных заготовок лопаток.

1. Традиционная объемная штамповка включает следующие операции (рис. 1):

- набор металла под замок высадкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) за 3 перехода;

- одна или две штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП);

- обрубка облоя на эксцентриковых или кривошипных прессах окончательная штамповка калибровка на КГШП.

КИМ при этом составляет 0,05... 0,25 и припуск - 1,5...2,5 мм и более.



Рис.1. Технологические переходы получения заготовок объемной штамповкой

2. Точная объемная штамповка (ТОШ) или т.н. прецизионная штамповка (ПШ) отличается от объемной штамповки, тем, что окончательная штамповка (калибровка) производится в штампах напряженной конструкции из быстрорежущей стали (типа Р6М5), закаленной до высокой твердости, а перед каждой штамповкой заготовки никелируют для исключения окисления при их нагреве с последующим удалением никеля травлением после каждой операции штамповки. За счет этого КИМ удастся повысить на 15...20%, а припуск по перу снизить до 0,2...0,4 мм. Однако процесс ТОШ характеризуется большим числом операций и высокой трудоемкостью.

3. Изотермическая штамповка (ИЗШ). Сущность ИЗШ заключается в деформировании заготовок в штампах, нагретых до температуры, близкой к температуре деформирования, при относительно малых скоростях движения ползуна прессы (5... 15 мм/с).

Такие условия деформирования позволяют значительно снизить удельные давления на штамп (в 2...2,5 раза), так как в процессе деформирования отсутствует подстивание тонких элементов заготовки лопаток, особенно кромок пера, а малая скорость деформирования способствует процессу разупрочнения материала (возврат и рекристаллизация).

Процесс ИЗШ позволяет получать односторонние, двухполочные и с антивибрационной полкой заготовки лопаток, в основном из алюминиевых и титановых сплавов.

При ИЗШ титановых сплавов для изго-

товления штампов применяется жаропрочные сплавы на основе никеля (типа ЖС-6К), обладающие достаточной прочностью и сопротивлением смятию при высоких температурах, порядка 900...950 °С.

Процесс ИЗШ включает предварительные операции фасонирования заготовки (высадку, выдавливание, предварительную штамповку и окончательные операции - одну или две штамповки и калибровку на изотермическом прессе).

Этот процесс позволяет уменьшить припуски по перу до 0,2...0,6 мм. и повысить КИМ до 0,3.. .0,4.

К недостаткам ИЗШ следует отнести:

- многооперационность процесса;
- низкая производительность (в смену 160.. 180 штамповок);
- ограниченность номенклатуры деформируемых материалов;
- сложности в изготовлении и эксплуатации штампов и нагревательных устройств;
- относительно низкая стойкость штампов (300...500 штамповок);
- наличие альфированного слоя при нагреве заготовок;
- коробление заготовок лопаток при извлечении из штампа и их охлаждении;
- большие энергозатраты.

4. Штамповка в режиме сверхпластического деформирования (СДП).

Отличие штамповки в режиме СДП от ИЗШ заключается в следующем:

- нагрев заготовок производится в более узком температурном интервале, близком к температуре фазовых превращений;
- деформирование производится с еще

меньшей скоростью перемещения ползуна прессы (0,1...0,3 мм/с);

- в конечной стадии деформирования производится выдержка в штампе 20...25 секунд с приложением постоянного усилия.

Штамповка в режиме СПД позволяет сократить число деформирующих операций, так как выдержка заготовок в штампе с приложением постоянного расчетного усилия деформирования способствует более лучшему перераспределению металла и заполнению глубоких и узких полостей штампа с большей допустимой степенью деформации.

Припуск по перу при этом снижается до 0,15...0,3 мм, КИМ повышается до 0,4..0,45.

Однако процессу СПД в основном свойственны те же недостатки, что и для ИЗШ.

5. Высокоскоростная штамповка (ВСШ) характеризуется высокой скоростью деформирования и импульсным приложением нагрузки. Так, при высокоскоростном выдавливании (ВСВ) заготовок однозамковых лопаток (рис. 2) скорость истечения металла из замковой части штампа в перо составляет 250...450 м/с, время процесса деформирования – $(3...5) \times 10^{-4}$ с.

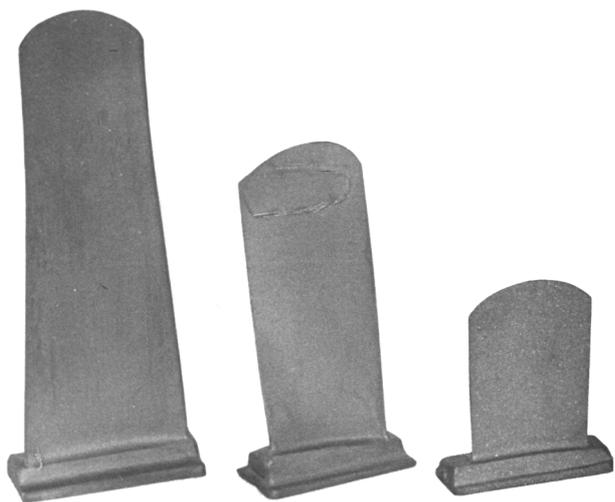


Рис. 2 Заготовки рабочих лопаток компрессора ГТД

Применение высоких скоростей деформирования способствует хорошему заполнению глубоких полостей штампа за счет:

- улучшения температурного режима штамповки. Из-за кратковременности процесса

практически отсутствует теплопередача от материала заготовки в штамп, а деформирование происходит в условиях близких к изотермическим;

- действия инерционных сил;

- снижения контактного трения, уменьшающегося с увеличением скорости деформирования.

Процесс ВСВ заготовок лопаток производится в разъемную матрицу за одну операцию. Нагрев исходных заготовок безокислительный, в расплаве хлористого бария (ст. ЭИ-96Ш1) или в индукторе ТВ4 (ВТ-9).

Анализ тех. процессов изготовления заготовок однозамковых лопаток, проведенный главным НИАТом, показал, что наиболее прогрессивным процессом является высокоскоростное выдавливание заготовок в разъемных матрицах (рис. 3) [1].

Начиная с 1972 года на ОАО "Моторостроитель" ведется работа по разработке и совершенствованию технологических процессов высокоскоростной штамповки заготовок лопаток ГТД.

За это время специалистами ОАО "Моторостроитель" совместно с НИИД и СНТК им. Н.Д. Кузнецова проведена опытная работа:

- разработан и изготовлен экспериментальный молот и штамповая оснастка;

- определены оптимальные термомеханические режимы деформирования;

- проведен комплекс металлургических исследований материала лопаток;

- разработаны оптимальные способы термической обработки заготовок.

По результатам выполнения опытных работ:

- совместно с Воронежским СКБМ бала разработана гамма высокоскоростных молотов с энергией удара от 15 до 75 кДж;

- на ОАО "Моторостроитель" создан промышленный участок высокоскоростной штамповки;

- разработаны и внедрены методы и средства повышения точности заготовок;

- предложена уникальная конструкция штамповой оснастки.

В разработанных конструкциях высокоскоростных молотов и оснастки предусмотрены:

- механизмы для создания напряженного состояния сжатия в разъемной матрице перед ударом;

- закрытие рабочей зоны штамповки, обеспечивающей шумоглушение до нормативного уровня (90 дБ) и надежную защиту обслуживающего персонала от травматизма.

Высокоскоростные молоты могут работать как в режиме гидравлического прессы, так и в режиме молота.

Разработанные технологические про-

цессы и оборудование позволяют изготавливать точные заготовки лопаток из теплостойких сталей (типа ЭИ-961Ш) длиной от 20 до 200 мм с припуском до 0,07 мм по перу под окончательную виброконтактную полировку (длиной до 100 мм) и до 0,25 мм под окончательную шлифовку (длиной до 200 мм), а также из титановых сплавов с припуском по перу до 0,8 мм под окончательную электрохимическую импульсную обработку.

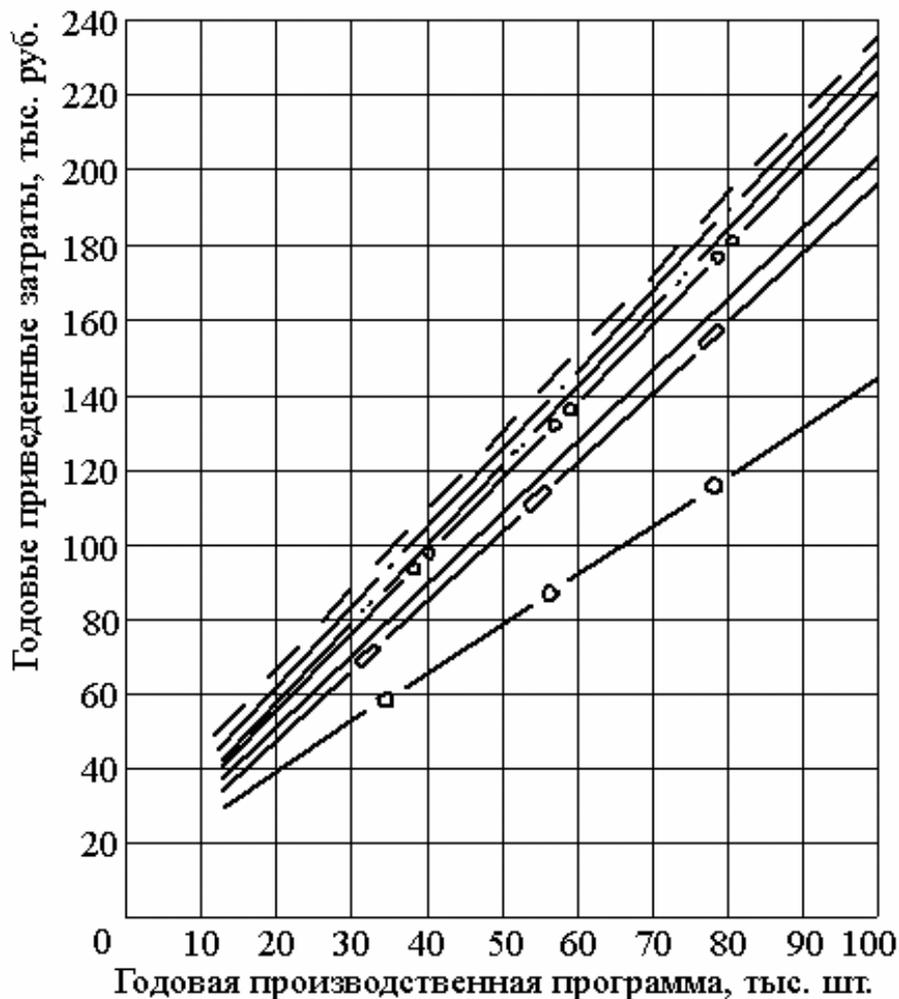


Рис.3. Приведенные затраты изготовления лопаток ГТД:

- — — — — - итамповка на винтовом прессе + фрезерование + шлифование
- · - · - - - - - итамповка на винтовом прессе + фрезерование + ЭХО + шлифование
- · · · · - итамповка на винтовом прессе + ЭХО + шлифование
- - - - - - - - итамповка на винтовом прессе + ЭХО
- ◐ — — — — - высокоскоростное выдавливание + шлифование
- ○ — — — — - изотермическая итамповка + шлифование
- □ — — — — - холодное вальцевание

Штамповка производится за 1 удар инструмента высокоскоростного молота (ВСМ) с применением безокислительного

нагрева исходных заготовок в индукционных хлор-бариевых ваннах и в индукторах с нагревом ТВЧ.

Технико-экономические показатели высокоскоростной штамповки по сравнению с традиционной объемной штамповкой:

1. Повышение КИМ - в 2-2,5 раза.
2. Снижение трудоемкости изготовления лопаток - на 35...40% за счет: сокращения числа деформирующих операций – с 7 до 1; сокращения числа нагревов заготовок – с 4 до 1; сокращения числа основных операций при механической обработке лопаток – с 21 до 11; снижения трудоемкости слесарных работ – в 2 раза.
3. Увеличение ресурса лопаток – на 50-60%.
4. Высвобождение деформирующего и металлорежущего оборудования и производственных площадей – на 50...60%.
5. Механизация и автоматизация технологических операций.
6. Стойкость штамповочных вставок из ст. ЭИ-958 – 1200...1800 штамповок (заго-

товки длиной до 100 мм.).

7. Производительность штамповки одного молота – 600...800 штук в смену.

Технология и оборудование защищены авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

В настоящее время на ОАО "Моторостроитель" внедрены в серийное производство 24 наименования компрессорных лопаток, еще 18 наименований лопаток ГТД семейства "НК" находятся в стадии освоения.

Список литературы

1. Евланов Н.Г., Зудин К.И., Карнов М.Я. и др. Определение оптимальных вариантов технологических процессов изготовления лопаток ГТД. – В сб.: Проблемы технологии изготовления лопаток компрессора. – НИАТ, 1982, с. 13-16.

DEVELOPMENT AND A HEADING OF PRODUCTION PROCESSES OF MANUFACTURE OF EXACT WORKPIECES OF COMPRESSOR BLADES OF A TURBINE ENGINE ON THE EXPOSED JOINT-STOCK COMPANY "MOTOROSTROUTEL"

© 2006 M.S. Kalimulin, G.I. Komar, J.N. Krasnov, R.R. Orlov, I.L. Shitarev

Public corporation "Motorostroitel"

In the given article effects of operation of specialists of exposed joint-stock company "Motorostroitel" on development, perfecting and a heading of production processes and inventories for manufacture of exact workpieces of blades of air engines of gas-turbine engines are reduced. The assaying of progressive production processes of obtaining of workpieces (isothermal pressure forming, pressure forming in a condition of a superplastic warping, a high-velocity forming) is given. Overall technical-and-economic indexes of a high-velocity forming in comparison with conventional die massive forming are given.