

И. Л. Шитарев

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТОК  
МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ШТАМПОВКИ

Рассмотрен процесс высокоскоростного штампования, показаны пути решения проблем, связанных с наличием отскока и повторного удара деформирующего инструмента, гидроудара в масляных трубопроводах, недостаточной стойкостью штампов.

Технологический процесс высокоскоростной штамповки (ВСШ) разработан совместно с Куйбышевским филиалом НИИД и НПО "Труд" на Куйбышевском моторостроительном производственном объединении имени М. В. Фрунзе.

На основании проведенных научно-исследовательских работ были разработаны и изготовлены деформирующее и нагревательное оборудование, штамповочная оснастка, создан промышленный участок ВСШ, за время серийной эксплуатации которого была проведена большая работа по совершенствованию конструкции высокоскоростных молотов, безокислительного нагревательного оборудования, штамповочной оснастки, позволившая устойчиво выполнять план комплектации лопатками выпускаемых изделий.

В то же время ряд недостатков, присущих процессу ВСШ, не полностью устранен. К ним относятся:

отскок и повторный удар деформирующего инструмента, которые приводят к образованию складки в зоне радиуса перехода от трапецевой поверхности замка к перу на лопатках с большой клиновидностью в продольном сечении;

гидроудар в масляных трубопроводах, возникающий от действия динамического усилия деформирования, передающегося через оснастку на поршень гидравлического выталкивателя;

недостаточная стойкость штампов (600-1200 штамповок для лопаток длиной 50-120 мм из стали ЭИ96III);

токсичные вещества (применение расплава хлористого бария для нагрева исходных заготовок перед штамповкой).

---

ГЗВМ 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991

---

Отскок и повторный удар обусловили увеличение припуска на трактовой поверхности замка заготовок лопаток и введение операции фрезерования этого участка и радиуса перехода. Полностью этот недостаток исключается при боковом выдавливании блочных заготовок лопаток, о чем подробнее будет сказано ниже.

Наличие гидроудара в гидросистеме приводит к выходу из строя трубопроводов и резиновых уплотнений. Для решения этой проблемы разработаны, изготовлены и находятся на испытании компенсаторы гидроудара.

Наиболее важной и сложной проблемой при ВСП заготовок лопаток является низкая стойкость штамповых вставок, изготавливаемых из стали ЭИ958 с твердостью *HRC* 48–50. За последние годы из-за плохого качества штамповой стали марки ЭИ958 стойкость снизилась в среднем в 1,5 раза. Попытка замены стали с марки ЭИ958 на Р6М5Ф3 положительных результатов не дала, так как из-за низкой ударной вязкости при динамических нагрузках этот материал разрушается. Три пуансона, изготовленные из этого материала, после нескольких ударов разрушились.

Для восстановления изношенных участков гравюры вставок проведена работа по наплавке этих участков на установке плазменно-дуговой наплавки электродами из порошковой проволоки, разработанными институтом электросварки АН УССР им. Патона. Испытания опытной партии вставок дали положительные результаты.

Применение расплава хлористого бария в качестве среды нагрева исходных заготовок позволяет проводить безокислительный и быстрый нагрев (время нагрева 2,5–3,0 мин). Кроме того, пленка хлористого бария снижает теплопотери при переносе заготовки из ванны в приемник штампа и служит дополнительной смазкой. Однако из-за токсичности хлористого бария его желательно исключить из технологического процесса. С этой целью целесообразно осуществлять нагрев заготовок токами высокой частоты (ТВЧ). Основной задачей при нагреве заготовок ТВЧ является достижение равномерного температурного поля по всему объему заготовки и узкий температурный интервал ( $T = 1150 \pm 15^\circ\text{C}$  для стали ЭИ96III). Эта задача решается путем оптимизации режимов нагрева и конструкции индуктора.

Для предотвращения подстуживания торцов цилиндрической заготовки в процессе нагрева были подобраны оптимальные формы индукто-

на с переменным шагом навивки спирали и применены торцовые заглушки. Достижение равномерного температурного поля обеспечивается дифференцированным вложением мощности по времени — в начальный период подается большая мощность на индуктор, затем мощность снижается до определенной величины, что обеспечивает поддержание заданной температуры и выравнивание ее по объему заготовки. Для контроля температуры применен агрегат АПИР-С, который ведет ее регистрацию на термограмме и отключает нагрев при достижении заданной температуры.

Таким образом, применение индукционного нагрева заготовок ТВЧ позволяет исключить расплав хлористого бария в качестве среды нагрева и обеспечить экологическую чистоту технологического процесса ВСШ и последующей механической обработки.

При ВСШ заготовок лопаток длиной 120–220 мм из стали ЭИ96Ш величина коробления пера достигает 0,2–0,6 мм по закрутке и продольному изгибу, что приводит к необходимости введения операций рихтовки при комнатной температуре и последующего стабилизирующего отпуска.

Из-за больших габаритов и жесткости пера заготовок лопаток ручная рихтовка их затруднена. Поэтому операция рихтовки производится на специально спроектированных и изготовленных установках для рихтовки кручением и рихтовки продольным изгибом. Для выявления (особенностей) коробления пера были отштампованы и измерены партии заготовок лопаток. Анализ измерений показал, что в основном коробление происходит по закрутке пера и в одну и ту же сторону.

Введением упреждения по закрутке пера в штамповочной оснастке можно исключить операции рихтовки на штамповках длиной до 160 мм и значительно уменьшить количество рихтуемых штамповок длиной до 220 мм. В настоящее время проводятся работы в этом направлении: изготовлены штампы с корректированной гравюрой, упреждающей коробление пера, проводится штамповка опытных партий заготовок лопаток.

В процессе освоения ВСШ заготовок лопаток из сплава ВТ9 возникли трудности, связанные с короблением пера в процессе термообработки при температуре 950°C, с выдержкой 1 час в атмосфере аргона.

Для устранения коробления пера после термообработки спроектирован и изготовлен блок штампов с индукционным нагревом, установленный на гидравлическом прессе усилием 160 тс ( $16 \cdot 10^5$  Н).

Процесс правки проводится при следующих режимах: нагрев загото-

вок лопаток в электропечи до температуры 950°C, выдержка 15-25 мин; правка в штампе, нагретом до 530-550°C; выдержка в штампе 30 с; термообработка при температуре 530°C, выдержка 6 часов.

В результате правки коробление пера заготовок лопаток длиной 100 мм снижается с 0,6-0,8 до 0,1-0,2 мм.

**В ы в о д.** Отличительной особенностью этого уникального технологического процесса является то, что за один удар деформирующего инструмента высокоскоростного молота путем выдавливания металла со скоростью истечения 250-400 м/с из приемника штампа, образующего замок лопатки, в гравюру штампа, образующего перо, получают заготовки лопаток с припуском по перу 0,05-0,2 мм на сторону, с большим коэффициентом использования металла (0,4-0,6), четко оформленными кромками и высокой чистотой поверхности. Высокая точность и стабильность геометрических размеров заготовок лопаток обеспечивается благодаря созданию упруго-напряженного состояния в разъемных матрицах штамповочной оснастки.

УДК 621.787.4

А. Ф. Шпатаковский

#### УПРОЧНЯЮЩЕ-ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА НА УСТАНОВКЕ С ПЛАНЕТАРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОНТЕЙНЕРОВ

Приведены схема упрочнения и отделки лопаток компрессора высокого давления (КВД) авиадвигателей на установках с планетарным движением контейнеров (УПДК), результаты исследований по деформационному упрочнению, шероховатости и остаточным напряжениям на образцах из стали У8А и лопатках из сплава ЭП718ВД, обработанных на различных режимах. Показана эффективность обработки с точки зрения повышения выносливости лопаток и производительности труда.