

## ПОДАВЛЕНИЕ НЕГАТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ДВУХСТОРОННЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРА ПО МЕТОДУ КОПИРОВАНИЯ

Смирнов Г.В., Шулепов А.П.  
Самарский университет, pdlassau@mail.ru

*Ключевые слова: лопатка, перо, ЭХО, деформация, точность.*

Обеспечение точности обработки пера лопаток компрессора ГТД всегда являлось актуальной проблемой. Практически во всех технологических процессах обязательно присутствует ручная слесарная доработка пера по достижению требований точности, предусмотренных чертежом. Перо лопатки имеет сложную пространственную форму и спроектировано по принципу равнопрочной конструкции. Поэтому при механической обработке, например, при строчном двухстороннем фрезеровании дисковыми фрезами, или фрезеровании концевой фрезой упруго деформируется под действием сил резания. А также после окончания обработки и раскрепления заготовки имеют место остаточные деформации (ОД) пера под действием остаточных напряжений, образующихся в поверхностном слое в процессе обработки. В результате снижается точность таких параметров, как расположение оси пера относительно номинального положения, то есть смещение сечений относительно номинального расположения. Решению данной проблемы посвящено большое количество работ. Из последних можно отметить комплексный подход на основе моделирования теплофизических процессов в зоне резания при концевом фрезеровании пера на пятикоординатном станке [1]. С помощью моделирования остаточных деформаций, под действием остаточных напряжений, формирующихся в поверхностном слое пера в процессе фрезерования и корректировки параметров резания, авторам удалось снизить величину остаточных деформаций практически до нуля. Включение в технологию обработки лопатки электрохимической размерной обработки (ЭХО) профиля пера благотворно сказывается на увеличении ресурса ее работы в двигателе. Однако при ЭХО профиля пера лопатки по схеме двухстороннего копирования сложно реализовать подобный подход. Во-первых, из-за того, что при копировании обрабатывается вся поверхность пера со стороны электродов, хотя растворение металла идет только в тех частях пера, где величина межэлектродных зазоров будет соответствовать диапазону активного растворения. Во-вторых, зоны растворения по перу распределяются от лопатки к лопатке случайным образом, в зависимости от неравномерности припуска на заготовках. В-третьих, и это особенно важно для компрессорных лопаток ротора, остаточные напряжения, наследуемые поверхностью пера от обработки, предшествующей ЭХО, проявляются в полной мере только после окончания ЭХО, в процессе измерения в виде остаточных деформаций пера. Причем схема измерения точностных параметров пера после ЭХО отличается от схемы установки заготовки в процессе ЭХО. При обработке лопатка закрепляется по двум базам – по замку и технологической прибыли, а в процессе измерения – только по замку. Надо отметить, что ЭХО практически не вносит в поверхностный слой собственных остаточных напряжений, а всего лишь удаляет с поверхности пера слой с локализованными в нем «наследственными» остаточными напряжениями от предшествующей обработки. Как правило, это фрезерование пера с целью выравнивания припуска по перу после штамповки. Воздействовать на величину «наследственных» остаточных деформаций можно за счет введения термической обработки с целью подавления «наследственных» остаточных напряжений.

Кроме воздействия на саму величину ОН за счет изменения методов предварительной обработки пера, нами ранее был предложен принцип автоматического исправления погрешности размеров второго рода при двухсторонней ЭХО путем периодического изменения положения пера лопатки относительно электродов, за счет его самоустановки и недеформирующего перезакрепления в процессе обработки, без воздействия на величину

наследственных ОН. Для реализации этого принципа был разработан и способ и ЭХО (рис. 1). По данному способу (а) перезакрепляется и самоустанавливается. Нами было проведено теоретическое обоснование использования предлагаемого принципа, которое включало оценку возможного перераспределения припусков, погрешности смещения пера, возникшей в результате удаления напряженного слоя и определения возможности исправления изменения деформаций за счет оставшегося припуска.

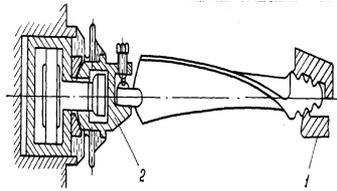


Рис.1. Схема ЭХО с переустановкой заготовки относительно электродов по а.с. № 655497

На основе общей теории деформирования была определена деформация пера за каждый цикл обработки  $f_{pi}(hi)$ , определена закономерность изменения припусков и зазоров по спинке и корыту с учётом съёма в плоскости наименьшей жёсткости. С помощью теории идеального формообразования была определена конечная погрешность (остаточная деформация)  $\Delta p$  при ЭХО с перезакреплением и погрешность формы со стороны увеличения зазора  $\Delta \phi$ . При определении возможности исправления остаточной деформации по способу ЭХО с перезакреплением принимались допущения о равномерности распределения припусков и не учитывался разворот профиля, что не меняло принципиально характер полученных выводов. Были получены аналитические зависимости для  $\Delta p$  и  $\Delta \phi$ .

Расчет по формулам доказал возможность исправления погрешности размеров второго рода в процессе ЭХО за счет изменения положения заготовки относительно электродов. Использование данного принципа и соответствующих ему схем ЭХО даст максимальный эффект исправления погрешности в случае высокой избирательности съема при ЭХО. Это можно обеспечить за счет использования электролитов с высокой избирательной способностью и оптимальных режимов обработки.

Реальная обработка пера лопаток по данной схеме показала возможность достижения требуемых точностных параметров в условиях производства.

### Список литературы

1. Skuratov D.L. Mathematical model for determination of the most advantageous conditions for formations of parts of aerospace engineering on the operations of the end milling / D.L. Skuratov, D.V.Evdokimov, D.G.Fedorov // MATEC Web of Conferences. 2018. №224. Pp.1-7.

Сведения об авторах

Смирнов Геннадий Владиславович, д-р техн. наук, профессор. Область научных интересов: ЭХО.

Шулепов Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: ЭХО.

## SUPPRESSION OF TECHNOLOGICAL HEREDITY DURING DOUBLE-SIDED ELECTROCHEMICAL PROCESSING OF THE BLADE FEATHER USING THE COPYING METHOD

Smirnov G.V., Shulepov A.P.,  
Samara National Research University, Samara, Russia

*Key words: blade, electrochemical machining, permanent deformation.*

In materials presented, the results of using method for suppressing technological residual stresses in process of electrochemical exchange treatment of the compressor blade according to the double-sided copying scheme are presented. A theoretical substantiation of the possibility of using this method was carried out.