

знаний» по практическому обучению новых специалистов. Средствами SmartTeam возможны быстрые изменения в созданном ТП в случае, например, изменения геометрии лопатки, ее материала, изменения способа получения заготовки.

ФАКТОРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД

Смирнов Г.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Использование ВСШ и других прогрессивных способов для получения заготовок лопаток компрессора в принципе снижает объем последующей обработки пера, но только при использовании высокоточных методов обработки. Ограничения в использовании методов связаны со значительной неравномерностью припуска при ограниченной величине его минимального значения. Именно поэтому, например, после ВСШ подразумевается одноступенчатая окончательная обработка пера от готового замка, как от базы. Использование различных методов механической обработки (лезвийным инструментом, или шлифованием), способных обеспечить заданную точность, не всегда желательно с точки зрения формирования качественного поверхностного слоя, свободного от технологических остаточных напряжений (т.о.н.). Все механические методы подразумевают значительный градиент температур и сил в зоне резания, что является первопричиной появления т.о.н. Идеальным в этом смысле является метод круговой размерной электрохимической обработки пера (ЭХО), который практически исключает условия формирования значительных т.о.н. в поверхностном слое. Импульсный вариант ЭХО позволяет получить требуемую точность формы, но на деталях высокой жесткости. При обработке пера лопаток компрессора методом ЭХО в процессе обработки и особенно после нее проявляется действие ряда негативных факторов, не связанных, в основном, с природой самого метода. Формирование данных факторов осуществляется на предыдущих стадиях обработки лопаток, а их проявление в момент и после рассматриваемой обработки (в данном случае ЭХО) получило название технологической наследственности. В процессе обработки выявлены действия по крайней мере двух таких факторов - т.о.н. в поверхностном слое пера перед ЭХО и насыщение поверхности водородом до и после ЭХО. Если первый фактор оказывает влияние на точностные параметры ЭХО: смещение центров тяжести сечений пера относительно номинального расположения и изменение углов закрутки профилей сечения, то второй определяет качество поверхностно-

го слоя, прямо влияя на водородную хрупкость. Следует оговориться, что вследствие низкой жесткости лопаток обработка пера лопатки методом импульсной ЭХО сопровождается его деформацией вследствие воздействия на него потока электролита и термоупругих напряжений, связанных с протекающим по лопатке технологическим током. Это силовое воздействие в отличие от того, что сопутствует резанию, можно отнести к мягкому, т.к. оно не сопровождается формированием т.о.н. в поверхностном слое. Поэтому общая остаточная деформация является результатом алгебраического суммирования двух разных по природе деформаций: упругой деформации пера лопатки вследствие удаления слоя с локализованными в нем т.о.н. и смещения профилей в результате мягкого силового воздействия на перо при ЭХО. Общая остаточная деформация пера лопаток после ЭХО приводит к тому, что рассеяние смещений периферийных сечений пера лопаток у 15...20% крупногабаритных лопаток выходит за пределы поля допуска, у среднегабаритных и малогабаритных находится на границе поля допуска, как и в средних сечениях всех типов лопаток.

В настоящее время существует надежная методика дифференциальной оценки составляющих деформаций от обоих факторов. Таким образом, представляется существенным оценить значимость указанных факторов проявления технологической наследственности для разных типоразмеров компрессорных лопаток по их влиянию на точность и качество поверхностного слоя. В качестве параметра точности принималось смещение профиля пера от номинального расположения в трех сечениях: на периферии (1), в среднем сечении (2) и у корня (3). Оценка проводилась по вкладу, выраженному в процентах в остаточные деформации пера после ЭХО, выраженные в виде смещений профилей пера от номинального положения, от т.о.н. и мягкого силового воздействия в процессе ЭХО. Значимость фактора наводораживания поверхности на качество оценивалось по двухбалльной шкале: «да» - влияет, «нет» - не влияет.

При проведении оценки значимости факторов технологической наследственности были использованы результаты экспериментальных исследований смещений профилей пера от номинального расположения после ЭХО, теоретический расчет термоупругих деформаций пера, изложенные в работах [1, 2]. Анализируя результаты данных табл.1, можно отметить следующее: для всех типоразмеров лопаток единственной причиной смещения периферийных сечений от номинального расположения является фактор технологических о.н., так как его вклад в величину смещения составляет 100%. Термоупругие деформации пера также являются значимым фактором при формировании смещений профилей пера. Их вклад в смещения профиля средних сечений колеблется от 40% у крупногабаритных, 30% у средне- и 65% - у малогабаритных лопаток.

Таблица 1

Влияние факторов технологической наследственности на точность
и качество поверхностного слоя после ЭХО

Материал лопаток	Вклад факторов технологической наследственности									
	От технологических о.н. в %			От термоупругих напряжений при ЭХО в %			От электролита при ЭХО в %			Наводороживание поверхности
сечения	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Крупногабаритные лопатки, длина пера 300...600 мм										
ВТ9	100	20	0	0	40	0	0	40		Да
Среднегабаритные лопатки, длина пера 250...100 мм										
ВТ9, ЭИ 961	100	15	0	0	30	0	0	30	55	Да Нет
Малогоабаритные лопатки, длина пера менее 80 мм										
ЭП718	100	10	0	0	65	0	0	25	0	Нет
ЭИ961	100	10	0	0	65	0	0	25	0	

Силовое воздействие электролита является весьма значимым при обработке среднегабаритных и крупногабаритных лопаток (55% и 40% вклада соответственно), и значимым (25%) для малогогабаритных лопаток. Содержание водорода в поверхностном слое является, безусловно, значимым фактором для всех лопаток из титановых сплавов как крупногабаритных так и для среднегабаритных. Таким образом, проведенная оценка значимости факторов технологической наследственности позволяет обосновать приоритет и ожидаемую эффективность технологических мероприятий по подавлению указанных факторов при ЭХО и на предшествующей обработке с целью повышения точности и качества поверхности пера лопатки.

Так, при проектировании операции ЭХО для малогогабаритных лопаток следует основное внимание уделить подавлению термоупругих напряжений в процессе обработки первопричиной которых является контактное тепловыделение в токоподводе, Джоулево тепловыделение по сечению пера, и эффект Пельтье на границе фазового раздела металл-электролит. Технологические остаточные напряжения, наследуемые к операции ЭХО, незначительны, поэтому смещение периферийных сечений от номинала практически укладывается в поле допуска.

Для среднегабаритных лопаток большая значимость силового воздействия электролита требует изменения гидродинамических условий ЭХО: более предпочтительной становится схема прокачки электролита вдоль пера при которой силовое воздействие меньше. Значимость термоупругих напряжений требует совершенствования схемы токоподвода с целью уменьшения контактного тепловыделения. При использовании им-

пульсной схемы ЭХО значение Джоулево тепловыделения и эффекта Пельтье в общем тепловыделении, а следовательно, и термоупругих напряжениях - незначительно. Для уменьшения влияния т.о.н., наследуемых с предшествующей обработки, необходимо во-первых исключение предварительной механической обработки пера и его отдельных участков, во-вторых, введение термообработки перед эхо по уменьшению общего уровня т.о.н., в-третьих, изменения схемы закрепления вспомогательной установочной базы с целью перераспределения припуска по перу в процессе ЭХО.

Для крупногабаритных лопаток фактор т.о.н. является наиболее значимым. Подавление его может быть осуществлено с помощью внедрения тех же мероприятий, что и для среднегабаритных лопаток с добавлением требования по уменьшению общего припуска на заготовку при уменьшении его неравномерности, так как оставление его на том же уровне резко увеличит время на ЭХО, особенно при использовании импульсно-циклической схемы обработки.

Уменьшение влияния термоупругих напряжений для данного типоразмера лопаток возможно с помощью использования секционного электрода-инструмента, импульсного напряжения в результате чего уменьшится Джоулево тепловыделение, а также применения металлорезиновых вставок в зоне токоподвода с целью увеличения фактической площади контакта и, соответственно, уменьшения тепловыделения. Уменьшение силового воздействия электролита на перо крупногабаритных лопаток возможно при использовании «гребенчатого» электрода, уменьшающего общий уровень гидродинамических сил, а также облегчающего удаление продуктов растворения из зоны обработки, а также использование импульсно-циклической схемы обработки, позволяющей уменьшить деформирование пера при обработке за счет краткосрочности единичного цикла съема материала.

СЕРВЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ SCADA-СИСТЕМЫ

Михеев В.А., Чемпинский Л.А., Смольников С.Д.,
Зубков И. В., Щуровский Д.В., Шляпугин А. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

До середины 90^х годов автоматизированные системы управления технологическим оборудованием создавались эксклюзивно для решения проблем, ориентированных на изделие или учитывающих специфику производства.