100—150 мм, зоны с грубой структурой неравномерно удалены от нейтрального слоя (там, где изгиб был круче, — например при переходе на прямой участок, — эти зоны расположены ближе к нейтральному слою), а в прямом участке их нет совсем. Поэтому в процессе ротационного деформирования переход очага деформации в зону сечения с грубой структурой и начало разрушения происходят прежде всего в одной или в обеих частях заготовки, расположенных по обе стороны от прямого участка. В том случае, когда в результате гибки получались кольцевые заготовки с более однородной кривизной, разрушение происходило практически по всему контуру (так как зона с грубой структурой равно удалена от нейтрального слоя), за исключением части заготовки, в которой до калибровки по диаметру был прямой участок (поскольку структура в этой части однородная).

Приведенное объяснение причин разрушения выглядит еще более убедительным, если учесть, что бесшовные кольцевые заготовки из сплава ХН60ВТ диаметром менее 300 мм, изготовляемые ротационным деформированием шайб, вырезанных из листа, никогда не имеют разрушений, аналогичных вышеуказанным.

УДК 621.45-226.2:621.914

Удаление заусенцев на заготовках лопаток ГТД иглофрезерованием

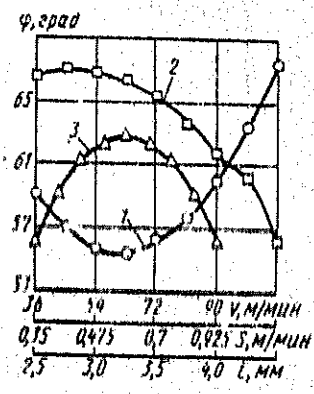
Для удаления заусенцев широко применяют виброабразивный, абразивно-роторный, галтовочно-абразивный методы. Экспериментальные исследования первых двух методов для удаления заусенцев на деталях из сплавов ВТ3-1, ВТ8М, ВТ9, ВТ18У показали отрицательный результат. Галтовочно-абразивным методом заусенцы с толщиной корня 0,3—0,5 мм с использованием карбида кремния зеленого можно удалить за 5 ч, с использованием карбида кремния черного — за 13,5 ч.

Полученные результаты потребовали необходимости поиска новых технологических процессов с более высокой производительностью зачистки. Были проведены исследования возможности применения иглофрезерования для удаления заусенцев на заготовках лопаток из титановых сплавов. Иглофрезерование представляет собой процесс резания металлов проволочным инструментом (цилиндрическими и торцовыми иглофрезами) с высокой плотностью набивки (70—80 %).

Металлографическим анализом установлено, что для полного удаления заусенца необходимо снять фаску под углом 45—55°. Это обусловлено тем, что наряду с искажением структуры в материале заусенца наблюдается дефектная зона и в прилегающем участке. Характерными дефектами являются отчетливо выраженное течение слоев металла вдоль заусенцев с образованием текстуры, изменение фазового состава и свойств в этой зоне.

Применение цилиндрических иглофрез показало высокую эффективность при удалении заусенцев с формированием фаски. Однако при этом зачищается только одна кромка заготовки, т. е. для зачистки четырех кромок полосы требуется четыре иглофрезы. Для исключения указанного недостатка было предложено применять торцовые иглофрезы, рабочие поверхности которых располагают параллельно боковым поверхностям заготовки. Каждая торцовая иглофреза удаляет заусенцы одновременно с обеих кромок поверхности. Смещение оси вращения иглофрезы относительно заготовки обеспечивает снижение натяга, необходимого для полного удаления заусенца. Величина смещения определяется свойствами обрабатываемого материала, характером и направлением взаимодействия игл режущего инструмента и обрабатываемой поверхности, а также параметрами рабочей поверхности иглофрезы (диаметром и вылетом ворса, плотностью набивки и др.). Отмечено, что при использовании торцовой иглофрезы с наружным диаметром 150 мм и шириной рабочей поверхности 35 мм, диаметром игл 0,5 мм и вылетом 21 мм ось иглофрезы относительно более удаленной от нее кромки заготовки целесообразно смещать на 30—36 мм.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на величину угла фаски применяли центральный композиционный ортогональный план (ЦКОП). Параметры режима обработки варьировали в следующих пределах: скорость резания (на линии среднего диаметра рабочей поверхности торцовой иглофрезы с характеристиками, приведенными выше) $v=36...108$ м/мин, подача $s=0{,}35...1{,}25$ м/мин, натяг $i=2{,}5...4$ мм. В результате реализации ЦКОП на ЭВМ ЕС-1035 была получена модель регрессионного анализа второго порядка: $\varphi=-36{,}191-0{,}683\,v+19{,}722\,s+77{,}071\,i+0{,}0055\,v^2-19{,}565\,s^2-11{,}857\,i^2$. Ее анализ позволил установить, что с увеличением скорости резания угол фаски φ уменьшается, а затем растет (см. рисунок). Это объясняется первоначальным ростом углов резания до оптимальных, обеспечивающих максимальное удаление корня заусенца. Последующее увеличение скорости резания приводит к росту отжима игл, снижающего удаление металла. Остальные параметры режима обработки не влияют на характер изменения угла фаски и положение его минимума (т. е. на величину скорости резания, при которой угол достигает минимального значения), а лишь на его абсолютную величину.



Зависимость угла фаски, подачи и натяга от скорости резания: 1 — $s=1{,}25$ м/мин, $i=2{,}5$ мм; 2 — $v=72$ м/мин, $i=2{,}5$ мм; 3 — $v=72$ м/мин, $s=1{,}25$ м/мин

С увеличением продольной подачи угол фаски первоначально незначительно растет, а затем снижается. Максимум зависимости $\varphi=f(s)$ расположен в области малых подач. Интенсивность снижения угла значительно выше интенсивности его роста в области малых подач. При этом на малых подачах увеличивается глубина резания, что приводит к значительному (до 3,5 мм) уменьшению ширины заготовки. Остальные параметры режима иглофрезерования не оказывают влияния на характер изменения зависимости $\varphi=f(s)$.

Увеличение натяга вызывает рост угла фаски и последующее его снижение. Скорость резания и подача не влияют на характер изменения зависимости $\varphi=f(i)$. Металлографический анализ кромок заготовки подтвердил полное удаление заусенцев.

Последующая оптимизация приведенной выше модели позволила установить, что минимальное значение угла $\varphi=55...56°$ достигается при $v=72$ м/мин (для иглофрезы со средним диаметром рабочей поверхности 115 мм, $n=200$ мин$^{-1}$, $s=1{,}25$ м/мин, $i=2{,}5$ мм).

Зачистка заусенцев с более высокими подачами позволила рекомендовать подачи, достигающие 3—5 м/мин. Следует также отметить необходимость применения СОЖ, содержащей воду с антикоррозионными присадками. Таким образом, иглофрезерование заготовок лопаток ГТД, полученных методом закрытой периодической прокатки, обеспечивает автоматизированное высокопроизводительное удаление заусенцев.

А. Л. Абугов, Н. Ф. Шутов, И. Л. Баршай, Ф. А. Бурцева

Авиационная промышленность, №3, 1990
Ежемесячный научно-технический журнал
Орган министерства авиационной промышленности СССР