

УДК 539.4.621.787

Б.В. ЛУПКИН<sup>1</sup>, А.И. ЛАГУТИН<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»<sup>2</sup>Авиационный научно-технический комплекс «Антонов», Украина

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДРОБЬЮ КАК МЕТОД ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КРИВИЗНЫ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

Выполнен анализ возможности изготовления монолитных панелей и других крупногабаритных деталей сложной кривизны формообразованием дробью. Показано, что использование данного метода дает ряд преимуществ: значительное увеличение ресурса в 2 – 3 раза, возможность получения, с заданной точностью, детали имеющие сложную, криволинейную поверхность, а так же значительное снижение производственных затрат. Приведенные данные свидетельствуют, что дробеударная обработка является высокоэффективной технологией формообразования за счет создания в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия.

**формообразование, упрочнение, поверхностное деформирование, остаточные напряжения, усталостная прочность, обработка дробью**

### Введение

Увеличение объема панелирования конструкций современных летательных аппаратов неуклонно возрастает, однако трудоемкость изготовления таких деталей из монолитных заготовок, существующими методами, чрезмерно велика. Поиск новых более экономичных и прогрессивных методов обработки является актуальной задачей. Одним из таких способов получения сложных криволинейных форм является *дробеударное формообразование*.

Как показывает практика, в мире существуют различные способы и варианты формообразования сложных, крупногабаритных деталей. Наиболее широко они применяются в самолетостроении [1]. В силу специфических особенностей отрасли (огромная номенклатура тонкостенных оболочковых деталей – обшивка фюзеляжа, крыла, оперения и др.) большая экономическая эффективность представляет наибольшую целесообразность применения дробеударного формообразования, причем независимо от типа производства. На рис. 1 представлена зависимость технологической себестоимости формообразования деталей типа панелей от годовой программы выпуска.

### Возможности формообразования дробью

Широкий диапазон наименования типовых деталей в нынешних условиях единичного и мелкосерийного производства указывает на целесообразность применения такого универсального метода, как формообразование дробью. Формообразование в инструментальных штампах влечет к значительному увеличению стоимости, например, трудоемкость изготовления оснастки для панели размером 1000 × 12000 мм составляет примерно 7500 н.часов, тогда как время изготовления панели аналогичных размеров дробеударным формообразованием на механизированной установке УФПД-3 составляет 8 – 10 часов.

Универсальность дробеударного формообразования обусловлена отсутствием специальной оснастки, широким диапазоном размеров заготовки, а также возможностью регулирования степени наклепа. По литературным источникам (табл. 1) приведены наибольшие размеры панелей для различных дробеударных установок [2, 3].

Практика производства и эксплуатации изделий АН показывает, что при изготовлении обшивок такой метод позволяет снизить трудоемкость в 2 – 5 раз, исключается брак по разрушениям, в 2 – 3 раза по-

вышается ресурсная способность детали благодаря сопутствующему процессу упрочнения в [4].

В Научно-исследовательском Институте Авиационных Технологий (НИАТ) [2], были проведены

работы по исследованию возможности применения метода дробеударного формообразования для обшивок одинарной кривизны, а также в качестве доводочных работ для исправления дефектов.

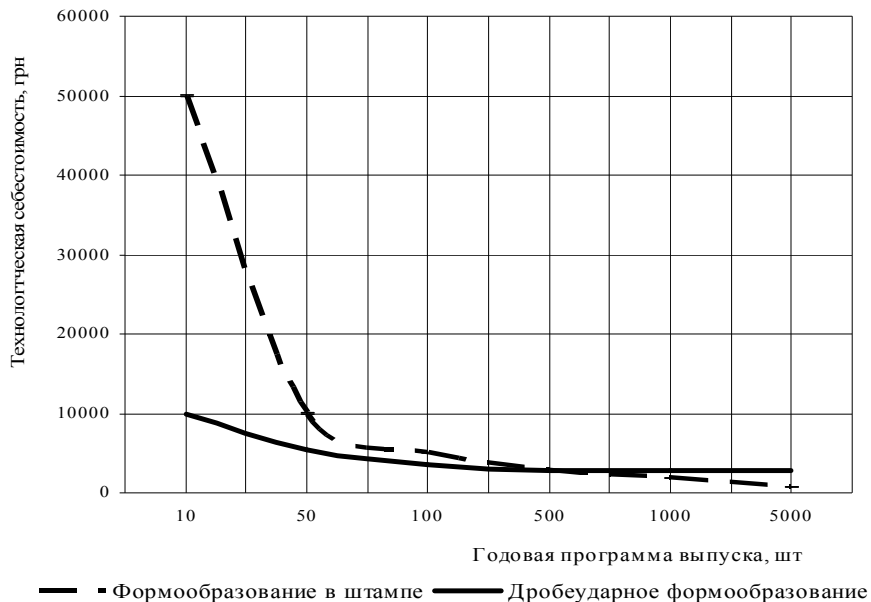


Рис. 1. График зависимости технологической себестоимости от годовой программы выпуска

Таблица 1

Наибольшие размеры деформируемой панели

Модель дробеударной установки	Наибольшие размеры деформируемой панели, мм		Режимы
	ширина	длина	
УФПД-3	1000	До 12000*	$\varnothing 0,6 \div 2,5$ мм $P = 4$ Атм $S = 150 \div 1500$ мм/мин $V = 30$ м/с
УФПД-4	2500	До 25000*	
БДУ-Э2М	2000	Не ограничен	$\varnothing 0,6 \div 1,2$ мм $P = 4$ Атм $S = 60 \div 100$ мм/мин $V = 30$ м/с
БДУ-Э3М	2000	Не ограничен	

\* Станины станков секционные, позволяющие в зависимости от числа секций обрабатывать панели длиной 6, 9, 12 м

На основании этих результатов были созданы первые промышленные образцы оборудования, исследованы режимы и разработаны некоторые сопутствующие данному процессу операции. Однако исследования были проведены для конкретных техно-

логических процессов и типа деталей, позволяющих создать на поверхности напряженное состояние.

Но для того, чтобы процесс позволял получать устойчиво наперед заданную криволинейную поверхность, для других типов материалов и деталей сведения отсутствуют. В литературе [2, 3] упоминаются лишь отдельные элементы дробеударного формообразования в сопутствующих технологиях. В частности, поверхностное упрочнение методами: дробеструйным, дробеметным, ударно-барабанным, местным пневмодинамическим наклепом (ПДН), вибронаклепом, виброшлифованием. Эти процессы тесно связаны с формообразованием, ближе всего стоит к формообразованию метод ПДН. Отдельные технологические моменты могут служить основой анализа дробеударного формообразования (гибки).

*Преимущества метода дробеударного формообразования (гибки):*

- 1) исключает возможность разрушения обрабатываемой детали;
- 2) значительно снижает затраты за счет исключения дорогого штампа при изготовлении крупнога-

баритных деталей;

3) создает на поверхности детали благоприятное напряженное состояние, эффекта упрочнения;

4) дает возможность получать с заданной точностью детали с криволинейной поверхностью;

5) повышает коррозионную стойкость деталей, что увеличивает ресурс изделия особенно во всеклиматических условиях.

*Недостатки метода дробеударного формообразования (гибки):*

1) изменения формы при эксплуатации в условиях длительного нагрева (более 1 часа) до температуры 100°C, в результате релаксационного изменения напряженного состояния поверхностного слоя изделия [2];

2) наличие ограничений в выборе эффективных радиусов гибки в зависимости от толщины полотна (а также от типа применяемого оборудования и ма-

териала заготовки) (табл. 2);

3) возможность формообразования (гибки) плоских заготовок, подкрепленных с одной стороны ребрами жесткости, лишь в одном направлении (линиягиба перпендикулярна направлению ребер).

Основная номенклатура деталей, для которых предназначен метод дробеударного формообразования, изготавливается из высокопрочных листовых материалов – алюминиевых, титановых сплавов, в частности, наибольшее распространение получили сплавы Д16Т, 1163Т, 1973, В95, В95пчТ2, В95очТ2. Детали фюзеляжа и крыла самолета представляют собой крупногабаритные, монолитные панели, включающие в свою конструкцию обшивку и элементы каркаса – продольный, а иногда и поперечный набор в виде ребер жесткости различной формы и сечения (рис. 2).

Таблица 2

Зависимость минимального радиуса кривизны от толщины полотна

Толщина полотна, мм	1 – 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Минимальный радиус кривизны, мм	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000

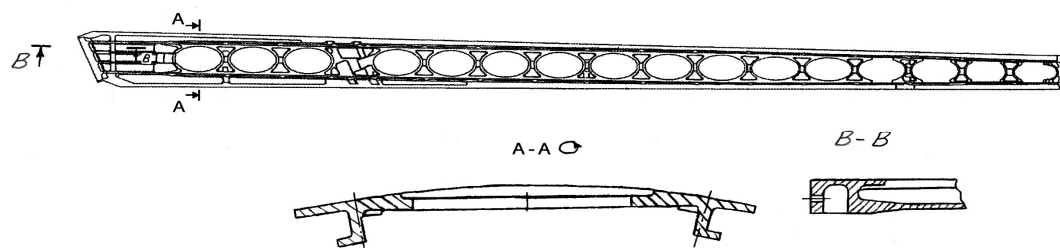


Рис. 2. Пример люковой панели самолета АН-148

Переменность сечения используемой заготовки уменьшает число возможных схем формообразования, резко усложняет технологию и увеличивает трудоемкость формообразования, а также накладывает ряд ограничений на конструктивные формы панелей, которые могут быть изготовлены.

В настоящее время для существенного улучшения эксплуатационных характеристик изделий – повышения надежности, ресурса, снижения массы – часто используются в конструкции крыла монолит-

ные панели. Изготовление монолитных панелей производится из прессованных профильных и плоских плит, литых специальных заготовок прошедших предварительно механическую обработку, а это связано с высокими затратами на изготовление штампов (более 50000 грн.). Для единичного и опытного производства основным технологическим процессом формообразования является механическая обработка, а технология гибки производится индивидуально высококвалифицированными рабо-

чими с применением универсальных приспособлений. С целью обеспечения заданного ресурса изделия обязательным требованием в конструкторской документации как серийного, так и опытного производств является окончательная упрочняющая обработка. Наиболее часто на особо ответственные детали назначаются процессы дробеструйной обработки или технологические операции вибронаклепа.

Сущность процесса дробеударного формообразования заключается в том, что заготовку свободно располагают на несущей плоскости оборудования, затем с одной стороны обрабатывают потоком быстrolетящей дроби, при этом, в виду неравномерности деформационных изменений по сечению заготовки, последняя деформируется изгибом, направление которого – встречное направлению полета дроби. Роль изгибающих усилий играют остаточные сжимающие напряжения, возникающие в поверхностных слоях металла заготовки со стороны обрабатываемой поверхности (рис. 3).

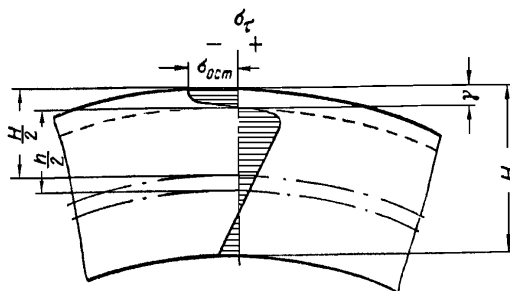


Рис. 3. Эпюра остаточных напряжений по сечению изогнутой пластины:  $H$  – толщина полотна;  $\gamma$  – глубина залегания напряжений;  $\sigma$  – напряжение

В процессе нагружения заготовка находится в условиях чистого упругого изгиба; в процессе разгрузки, т.е. в момент снятия деформирующего усилия, форма заготовки не изменяется, в виду стабильности остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, обработанном дробью. Таким образом, заготовке, подверженной процессу дробеударного формообразования, несвойственно пружинение в смысле упругого возврата формы.

Такой процесс практически исключает возможность разрушения, так как для получения заданной

деформации требуется значительно меньшее напряжение изгиба, чем при пластическом изгибе на прессовом оборудовании.

### Заключение

Как правило, все детали типа панелей являются особо ответственными по прочностным показателям и по точности заданных размеров. Детали оболочки должны с высокой точностью повторять теоретические обводы самолета, соответствовать требованиям по качеству внешней поверхности и обеспечивать высокую, знакопеременную нагрузку. Дробеударное формообразование совмещает в одну операцию гибку на прессах и частично упрочнение, а это позволяет создать высокие значения механических свойств, коррозионную стойкость, сопротивление деталей знакопеременным нагрузкам, контактной усталости и в целом повышает конструкционную прочность, в значительной степени снижая производственные затраты.

### Литература

1. Тейлор Эл. Формовка и упрочнение поверхности дробеструйной обработкой // Материалы семинара по самолетостроению. – М.: НИИАТ, 1975. – С. 32 – 37.
2. Дробеударное формообразование обшивок одинарной кривизны из монолитных ребристых панелей. РТМ-1171-69. – М.: НИИАТ, 1969. – 32 с.
3. Руководство по технологичности самолетных конструкций / Под общ. ред. П.Н. Белянина. – М.: НИИАТ, 1987. – 387 с.
4. Руководящие технологические материалы для конструкторов. РТМ-87, КМЗ, НИАТ.
5. Конструкция и прочность самолетов / В.Н. Зайцев, В.Л. Рудаков – К.: Высш. шк., 1978. – 488 с.
6. Абибов А.Л. Технология самолетостроения: Учебник. – М.: Машиностроение, 1970. – 499 с.
7. Поверхностный наклеп высокопрочных материалов: Сб. статей / Под ред. С.И. Кишкиной. – М.: ВИАМ, 1971. – 251 с.

Поступила в редакцию 20.03.2006

**Рецензент:** канд. техн. наук О.В. Мамлюк, Киевский авиационный техникум, Киев.