

Рис. 1. Спектры шума, создаваемого на рабочем месте листоштамповочным оборудованием 1 – К1126; 2 – К1430; 3 – К2330-6; 4 – "Aida"; 5 – А823; 6 – С120; 7 – А6132А; 8 – А6134А; - - - - предельный спектр ПС-80 по ГОСТ 12.1.003–83

101 дБА, что соответствует увеличению громкости шума на рабочем месте по сравнению с нормами в 4,2 раза.

Спектры шума, создаваемого прессами различных моделей (рис. 1), характеризуются преобладанием средних и высоких частот, причем уровни звукового давления в диапазоне частот 250...8000 Гц значительно превышают предельно допустимые нормы.

Местами повышенного шумоизлучения при работе прессов являются зоны штамповки, выхлопа сжатого воздуха, сочленения деталей привода и рабочих механизмов, т. е. возникновение интенсивного шума при листовой штамповке связано с режимом работы оборудования и конструктивными особенностями его узлов.

Так как шум, возникающий при работе холодноштамповочного оборудования, в основном определяется характером и усилиями технологических операций, радикальными мероприятиями по защите работающего персонала от вредного воздействия шума являются создание малошумного оборудования, удаление работающих от рабочей зоны за счет механизации и автоматизации процессов холодной штамповки, использование глушителей шума и звукоизолирующих кожухов для многопозиционных прессов, прессов-автоматов и полуавтоматов.

УДК 621.983:621.787

И.Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, В.В. МИХАЙЛИК,  
В.Л. СЕМЕНОВ, В.С. ШЛЯХОВОЙ

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА КАЧЕСТВО ОСОБОТОНКОСТЕННЫХ СИЛЬФОННЫХ ТРУБОК-ЗАГОТОВОК

Одним из актуальных направлений развития сильфонного производства является создание технологии серийного изготовления особотонкостенных изме-

рительных сильфонов малой жесткости. В связи с этим большое значение приобретает получение сильфонных трубок-заготовок с микронными толщинами стенок, отвечающих установленным требованиям к физико-механическим характеристикам материала, качеству поверхности и точности геометрических размеров.

Единственно возможным способом, позволяющим в настоящее время изготавливать особотонкостенные сильфонные трубки-заготовки, отвечающие всем предъявляемым требованиям, является ротационная вытяжка в шариковых матрицах планетарного типа.

Процесс пластического деформирования при ротационной вытяжке в основном характеризуется степенью деформации по толщине стенки ( $\epsilon_s$ ), диаметром деформирующих шариков ( $d_{ш}$ ), частотой вращения пуансона ( $n$ ) и продольной подачей шариковой матрицы ( $f$ ). Данная работа посвящена исследованию влияния указанных параметров процесса на качество особотонкостенных сильфонных труб-заготовок.

Параметры процесса устанавливались из условия обеспечения наименьших структурных повреждений деформируемого материала (дисперсионно-твердеющая латунь ЛАНКМц), получения высокого качества поверхности трубок-заготовок при наибольшей производительности процесса и заданной точности по толщине стенки трубки-заготовки.

Известно, что превышение определенного уровня интенсивности деформаций приводит к образованию необратимых структурных повреждений и как следствие к снижению пластичности разупрочненного материала [1], что в свою очередь способствует появлению брака на последующих операциях формообразования сильфонов и снижению их циклической прочности. За определяемую характеристику пластичности материала в сильфонном производстве принято относительное удлинение материала трубок-заготовок в окружном направлении ( $\delta$ , %) при испытании их методом гидрораздачи [2].

С учетом этого качество сильфонных трубок-заготовок, характеризующее оптимальность выбранных режимов, устанавливалось по изменению пластичности материала термообработанных трубок-заготовок и наличию визуально наблюдаемых дефектов на их поверхности ("волна" от потери устойчивости стенки, образование глубоких винтовых канавок, повышение параметров шероховатости и др.).

Основным результатом проводимых экспериментальных исследований являлась функциональная зависимость

$$\delta = F(\epsilon_s, d_{ш}, n, f).$$

Диапазоны варьирования всех параметров процесса были определены исходя из условий устойчивости процесса и получения зерна минимальной величины при разупрочняющей термообработке [3]. Значения исследуемых факторов с разложением их по уровням представлены в табл. 1. В качестве исходной заготовки принята передельная труба  $\varnothing 10,8 \times 0,3$  — ЛАНКМц по ТУ 48-0814-21—85.

Сочетания параметров технологического режима в эксперименте изменялись на последнем деформационном переходе (окончательная толщина стенки — 60 мкм), при этом степени деформации на предшествующих деформационных переходах задавались одинаковыми и меньшими соответствующих их

Табл. 1. Параметры процесса ротационной вытяжки

Параметр	Значения факторов				
	1	2	3	4	5
$\epsilon_s, \%$	35	40	45	50	55
$d_{ш}, \text{мм}$	1,58	2	2,5	3	3,5
$n, \text{об/мин}$	600	800	1000	1200	1400
$f, \text{мм/об}$	0,04	0,11	0,18	0,25	0,32

значений на окончательной операции. Это позволило стабилизировать действие масштабного фактора и значительно ослабить влияние предшествующих деформационных операций на относительное удлинение материала трубок-заготовок.

С целью уменьшения влияния неоднородности механических свойств исходного материала на получаемые результаты и сокращения числа опытов был применен метод рационального планирования эксперимента [4]. Используемый план экспериментов, основанный на латинском квадрате, предусматривает неповторяемость сочетаний факторов и равномерный охват всей площади таблицы возможных сочетаний факторов.

Каждый образец подвергался разупрочняющей термообработке ( $T = 760^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 20$  мин, охлаждение в воду), обеспечивающей максимальную пластичность материала трубчатой заготовки и минимальный размер зерна [3]. Точность полученных трубок-заготовок по толщине стенки при всех сочетаниях режимов обеспечивалась за счет точности изготовления и настройки инструмента, а также точности станка. Относительное удлинение материала трубок-заготовок ( $\delta, \%$ ) определялось методом гидрораздачи [2] по изменению периметра их поперечного сечения. Для получения средних значений экспериментальных величин со степенью достоверности 95 % каждое сочетание влияющих факторов обеспечивали не менее чем на восьми трубках-заготовках.

Используя метод последовательных приближений и руководствуясь методикой обработки экспериментальных данных [4], определяли влияние каждого из факторов на общий результат при нейтрализации воздействия всех остальных. Графики зависимости средних значений функции от каждой независимой переменной (от каждого фактора) представлены на рис. 1. Полученные зависимости отвечают условию наименьшего среднего квадратического отклонения экспериментальных точек.

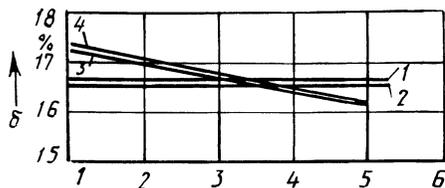


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения в окружном направлении тонкостенных трубчатых заготовок от параметров ротационной вытяжки: 1 -  $\epsilon_{ш}$ ; 2 -  $d_{ш}$ ; 3 -  $n$ ; 4 -  $f$

Общая эмпирическая формула зависимости  $\delta$  от всех влияющих факторов имеет вид

$$\delta \cong 18,48 + 0\epsilon'_s + 0d'_{\text{ш}} - 0,28n' - 0,3f' ,$$

или

$$\delta \cong 18,48 - 0,28n' - 0,3f' ,$$

где  $n'$  и  $f'$  — значения влияющих факторов в условных единицах (1, 2, 3, 4, 5).

Для переменных факторов в натуральных единицах она принимает вид

$$\delta \cong 18,9 - 1,38 \cdot 10^{-3} n - 4,29f .$$

При сопоставлении расчетных значений функции с экспериментальными можно отметить, что отклонения этих значений не превышают 7,5 % при средних значениях отклонений  $\approx 3$  %. Разница между расчетными и экспериментальными значениями относительного удлинения лежит в пределах обычного разброса, вызванного неоднородностью исходных свойств материала сильфонных трубок-заготовок, а также влиянием других неучитываемых факторов. Проверка результатов анализа по критериям Кохрена и Фишера [5] позволяет сделать вывод о воспроизводимости измерений и адекватности полученной модели с достоверностью 0,95.

Анализ эмпирической формулы показывает, что степень деформации по толщине стенки трубки и диаметр деформирующих шариков в рассмотренных диапазонах их варьирования не вызывает заметных изменений относительного удлинения материала сильфонных трубок-заготовок. В то же время увеличение частоты вращения пуансона и продольной подачи головки приводит к некоторому уменьшению относительного удлинения. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что процесс ротационной вытяжки обладает достаточной устойчивостью к изменениям основных технологических параметров. Параметры процесса ротационной вытяжки ограничиваются при появлении дефектов на трубках при известных предельных значениях интенсивности деформаций.

На основе полученных результатов разработан технологический процесс изготовления сильфонных трубок-заготовок с толщиной стенки 50...60 мкм. Процесс апробирован в производственных условиях. Сильфоны успешно выдержали испытания на соответствие техническим требованиям. На основе разработанного технологического процесса организовано серийное производство сильфонов малой жесткости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Усталость и хрупкость металлических материалов / В.С. Иванова, С.Е. Гуревич, И.М. Копьев и др. — М.: Наука, 1968. — 216 с.
2. Добровольский И.Г., Шляховой В.С. Метод испытания сильфонных трубок-заготовок // Металлургия. — Минск: Выш. шк., 1983. — Вып. 17. — С. 85–90.
3. Добровольский И.Г., Михайлик В.В., Хоняк Т.М., Шляховой В.С. Технологические особенности изготовления сильфонов с микронными стенками из латуни ЛАНКМц // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1986. — № 5. — С. 43–45.
4. Протодаьяков М.М., Тедеер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. — М.: Наука, 1970. — 76 с.
5. Методика выбора контролируемых параметров технологических процессов методом планирования эксперимента. — М.: ВНИИНМАШ, 1976. — 118 с.