

18,5 кГц. При волочении труб на подвижной оправке с продольными ультразвуковыми колебаниями волокнистый материал из твердого сплава ВК8 усилие деформации снизилось на 56,2% с 4,80 кН до 2,10 кН. Такое значительное уменьшение усилия волочения обусловлено тем, что при колебательном смещении волокнистый материал в направлении протягивания трубы силы трения между волоконной структурой и оправкой являются активными и способствуют перемещению металла в очаг деформации. Кроме того, усилие снижается вследствие разупрочнения протягиваемого металла в пучностях напряжений стоячей ультразвуковой волны, которая устанавливается в подвижной оправке и, следовательно, в трубе, а также дробного характера деформации.

Усилие извлечения оправки из трубы уменьшилось с 4,20 кН до 2,25 кН, т.е. на 46,4%. Извлечение оправки облегчается ее упругой деформацией под действием продольных ультразвуковых колебаний, распространяющихся от колеблющегося торца трансформатора через плотно прижатый к нему фланец оправки. Шероховатость внутренней поверхности труб после извлечения оправки без наложения на нее ультразвуковых колебаний была равна  $R_a = 0,28-0,32$  мкм ( $\nabla 9a$ ), с наложением колебаний —  $R_a = 0,15-0,18$  мкм ( $\nabla 10a$ ). Следовательно, применение ультразвуковых колебаний при волочении труб на подвижной оправке и при извлечении оправки из трубы улучшает качество внутренней поверхности труб на один класс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Северденко В.П., Степаненко А.В., Запороженко В.С. Устройство для волочения труб на длинной подвижной оправке и последующего извлечения оправки из трубы с наложением ультразвуковых колебаний на инструмент. А.с. 623602 (СССР). — Бюл.изобрет., 1978, № 34.
2. Северденко В.П., Степаненко А.В. Трансформатор колебаний. А.с. 344900. (СССР). — Бюл. изобрет., 1972, № 26.

УДК 621.983:621.9:048

И.Г.ДОБРОВОЛЬСКИЙ, Т.В.СЛОБОДЯНЮК

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ С УЛЬТРАЗВУКОМ

Ротационная вытяжка с преднамеренным утонением стенки шариковой матрицей (головкой) относится к числу многофакторных процессов, требующих экспериментального исследования характера взаимозависимости и влияния технологических факторов на энергосиловые параметры процесса. Оценка суммарного влияния всех одновременно действующих технологических режимов обработки становится возможной при использовании методов многофакторных статистически планируемых экспериментов [1,2].

Из числа активных технологических параметров режима наибольшее влияние на производительность процесса ротационной вытяжки с ультразвуком оказывают степень утонения за проход  $\epsilon$  %, осевая подача  $s$  и подводимая мощность ультразвуковых колебаний (выходное напряжение ультразвукового генератора  $u$ ) [3,4].

Обработка результатов предварительных исследований, полученных при постановке четырехфакторного эксперимента [5], показала, что угловая скорость вращения заготовки не оказывает существенного влияния на усилие деформирования. Аналогичные выводы были получены и в работе [6]. Поэтому в дальнейшем этот фактор из числа активных исключался.

В представленной работе приводятся результаты исследования энергосиловых параметров ротационной вытяжки с ультразвуком тонкостенных оболочек из стали 08кп. При планировании экспериментов применяли центральное комбинационное ротатабельное планирование, позволяющее получать более точное математическое описание поверхности отклика благодаря увеличению числа опытов в центре плана и специальному выбору величины звездного плеча  $\alpha$  (при двухфакторном и трехфакторном экспериментах  $\alpha$  соответственно равно 1,41 и 1,68) [2].

Задачу планирования эксперимента математически формулировали в виде

$$P = \varphi(X_1, X_2, X_3), \quad (1)$$

где  $P$  – усилие деформации;  $X_1, X_2, X_3$  – переменные факторы ( $X_1$  – степень утонения  $\epsilon$ , %;  $X_2$  – осевая подача  $s$ ;  $X_3$  – выходное напряжение ультразвукового генератора  $u$ ).

При проведении исследований независимые переменные варьировали на уровнях, указанных в табл. 1.

Базой используемой экспериментальной установки служил универсальный токарный станок модели 1А616, в шпинделе которого крепилась полая

Т а б л и ц а 1.

Кодированное значение уровня переменного фактора	Натуральное значение уровня переменного фактора		
	$\epsilon$ , % ( $X_1$ )	$s$ , мм/об ( $X_2$ )	$u$ , В ( $X_3$ )
+1,68	49,5	0,293	420
+1,41	46,5	0,282	–
+1,00	42,0	0,26	400
0	31,0	0,193	370
-1,00	20,0	0,13	340
-1,41	15,5	0,104	–
-1,68	12,5	0,093	319

раскатная оправка с наклеенными на ней тензодатчиками, фиксирующими осевую  $P_x$  и тангенциальную  $P_z$ , составляющие усилия ротационной вытяжки. Специальная шариковая головка для раскатки с ультразвуком [3] крепилась на суппорте указанного станка вместо резцедержателя. Для получения ультразвуковых колебаний использовались генератор УЗГ-2-10 и магнито-стрикционный преобразователь ПМС-15А-18.

Для определения составляющих усилия деформирования с постановкой трехфакторного эксперимента (ротационная вытяжка с ультразвуком) было получено следующее уравнение поверхности отклика:

$$P = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2. \quad (2)$$

В случае ротационной вытяжки в обычных условиях (двухфакторный эксперимент) уравнение поверхности отклика существенно упрощается

$$P = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2. \quad (3)$$

Математическая обработка серии экспериментов и проверка значимости полученных коэффициентов [1,2] позволили получить зависимости составляющих усилия ротационной вытяжки с ультразвуком ( $P_x, P_z$ ) и в обычных условиях ( $P'_x, P'_z$ ) от основных технологических факторов:

$$P_x = 53,8 + 17,7X_1 + 11,3X_2 - 11,4X_3 + 8,8X_1X_2 - 2,4X_1X_3 - 2,4X_2X_3 + 1,9X_1^2 + 1,54X_2^2 - 3,0X_3^2; \quad (4)$$

$$P_z = 13,8 + 2,58X_1 + 1,6X_2 - 1,7X_3 + 0,9X_1X_2 - 1,1X_2X_3 + 1,1X_1^2 + 0,8X_2^2 - 1,32X_3^2; \quad (5)$$

$$P'_x = 78,7 + 25,1X_1 + 14,7X_2 + 9,5X_1X_2 + 7,0X_1^2 + 2,1X_2^2; \quad (6)$$

$$P'_z = 20,1 + 5,8X_1 + 3,5X_2 + 1,9X_1X_2 + 2,5X_1^2 + 1,4X_2^2. \quad (7)$$

Оценку адекватности приведенных уравнений проводили с помощью F-критерия Фишера. Из анализа уравнений (4) и (5) следует, что коэффициенты регрессии при параметре  $X_3$  (выходном напряжении генератора) всегда отрицательны, т.е. с увеличением мощности подводимых ультразвуковых колебаний растет и эффективность их действия с точки зрения снижения усилия деформирования при всех прочих равных условиях.

Для оценки сопоставимости расчетных значений составляющих усилия ротационной вытяжки с экспериментальными проводилась серия контрольных опытов с различными комбинациями технологических факторов процесса, отличными от принятых уровней варьирования. Сравнение полученных расчетных и экспериментальных данных показало удовлетворительную сходимость результатов, что позволяет использовать приведенные уравнения регрессии для предварительной оценки влияния технологических факторов на силовые параметры ротационной вытяжки с ультразвуком.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А д л е р Ю.П., М а р к о в а Е.В., Г р а н о в с к и й Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М., 1976. 2. С а у т и н С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. — Л., 1975. 3. С е в е р д е н к о В.П., Д о б р о в о л ь с к и й И.Г., С л о б о д я н ю к Т.В. Ротационное выдавливание с ультразвуком. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2. 4. Д о б р о в о л ь с к и й И.Г., С л о б о д я н ю к Т.В. Ротационное выдавливание с применением ультразвуковых колебаний инструмента. — В сб.: Металлургия. Минск, 1978, вып. 12. 5. С е в е р д е н к о В.П., Д о б р о в о л ь с к и й И.Г., С л о б о д я н ю к Т.В. Использование математических методов планирования эксперимента при исследовании ротационного выдавливания с ультразвуком. — Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук, 1977, № 3. 6. М о г и л ь н ы й Н.И., М о и с е в В.М. Исследование энергосиловых параметров ротационной вытяжки облочек. — Кузнечно-штамповочное производство, 1979, № 2.

УДК 621.983:621.793.1

И.Г.ДОБРОВОЛЬСКИЙ, Т.В.СЛОБОДЯНЮК

### УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА И РОТАЦИОННАЯ ВЫТЯЖКА ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

Целью настоящей работы являлось исследование влияния технологических параметров обработки на характеристики тонкостенных оболочек, полученных навивкой металлической ленты на оправку и одновременной ультразвуковой сваркой ее внахлестку по спирали с последующей окончательной формовкой изделий ротационной вытяжкой при подводе ультразвуковых колебаний в очаг деформации [1]. Экспериментальная установка была создана на базе токарно-винторезного станка модели 1А616 (рис. 1) и оснащена специально разработанной ультразвуковой сварочно-раскатной головкой с индивидуальным приводом [1]. Использование двигателей постоянного тока в автономных приводах вращения оправки и сварочно-раскатного ролика-волновода обусловило широкий диапазон возможного регулирования окружных скоростей, которые выбирались и согласовывались из условия получения качественного сварного шва.