

зическом металловедении/Под ред. Ю.А. Багаряцкого. — М.: Metallurgizdat, 1961. — 368 с. 4. У о р р е н Б.И. Рентгенографическое изучение деформированных металлов. — В кн.: Успехи физики металлов. М.: Metallurgizdat, 1963, т. 5, с. 172–237. 5. W i l l i a m s o n G.K., S m a l l m a n R.E. Dislocation densities in some annealed and cold-worked metals from measurements on the X-ray Debye-Scherrer spectrum. — Phil. Mag., 1956, v. 1, N 1, p. 34–46.

УДК 621.774.372:621.9.048.6

С.Н. ВИНЕРСКИЙ,  
М.В. ЛОГАЧЕВ, канд.техн.наук (БПИ)

### ВОЛОЧЕНИЕ ТРУБ С УЛЬТРАЗВУКОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОЩНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ\*

Целесообразность применения ультразвуковых колебаний высокой интенсивности при волочении труб подтверждают достоинства нового метода: уменьшение числа проходов и промежуточных отжигов за счет увеличения единичных обжатий, снижение усилия волочения, увеличение технологической деформируемости и уменьшение вероятности обрыва переднего конца трубы в пусковой период, повышение стойкости волочильных колец, улучшение чистоты поверхности и сокращение брака по наружным дефектам труб.

Однако эффективность воздействия ультразвуковых колебаний падает с увеличением диаметра труб, степени деформации и скорости волочения за счет демпфирования (затухания) колебаний.

Нами проведены исследования по оценке эффективности воздействия ультразвука при различных условиях деформирования с целью выбора режима процесса волочения с ультразвуком и использования колебательных систем устойчиво работающих при значительных нагрузках. Исследования были проведены при волочении труб из нержавеющей стали X18H10T на цепном волочильном стане при скоростях волочения от 0,08 до 0,06 м/с. В качестве смазки применяли хлорпарафин. Источником ультразвуковых колебаний служил генератор УЗГ-10У и магнитострикционные преобразователи ПМС 15А-18. Амплитуда смещений волок, расположенных в пучности колебаний цилиндрических стержней-волноводов, замерялась микроскопом МИ-1 и составляла от 5 до 20 мкм. Усилие волочения фиксировали с помощью мессдозы растяжения через тензометрический усилитель ТА-5 осциллографом Н-700 и быстродействующим самопишущим прибором НЗ20-3.

Безоправочное волочение труб производили через две волокы, одна из которых установлена в полости волновода непосредственно перед рабочей волокой [1]. Степень деформации  $\epsilon$  определялась как отношение разности площадей поперечного сечения трубы до и после деформации к первоначальной площади поперечного сечения, т.е.

---

\* Работа выполнялась под руководством и при непосредственном участии д-ра техн наук А.В. Степаненко.

$$\epsilon = \frac{F_n - F_k}{F_n} 100$$

Эффективность воздействия ультразвуковых колебаний определялась по формуле

$$n = \frac{P_{б.у} - P_{с.у}}{P_{б.у}} 100,$$

где  $P_{б.у}$  и  $P_{с.у}$  — соответственно усилие волочения при обычном процессе и волочении с применением ультразвуковых колебаний.

Результаты исследований по волочению труб  $\varnothing 5 \times 0,5$  и  $\varnothing 20 \times 1,0$  мм представлены в табл. 1.

Анализ результатов табл. 1 показывает, что с увеличением обжата и скорости процесса степень снижения усилия волочения под действием ультразвука уменьшается.

Следует отметить, что увеличение диаметра протягиваемой трубы при безоправочном волочении приводит к резкому снижению эффективности воздействия ультразвука за счет затухания (демпфирования) колебаний.

Т а б л и ц а 1. Влияние ультразвука на усилие волочения при безоправочном волочении труб

Степень деформации, %	Усилие волочения (кН) при скоростях волочения, м/с			Эффективность применения ультразвука (%) при скоростях волочения, м/с		
	0,08	0,27	0,6	0,08	0,27	0,6
Трубы $\varnothing 5 \times 0,5$ мм						
24,3	3,65* 1,4	3,7 1,9	3,7 2,4	61,6	48,6	31,5
36,0	2,9 <sup>6,5</sup> —3,05	4,05 <sup>6,7</sup> —4,2	5,3 <sup>6,7</sup>	55,4—53,1	39,5—37,3	20,9
43,8	5,9 <sup>9,1</sup> —6,4	6,6 <sup>9,3</sup> —7,55	7,65 <sup>9,4</sup> —7,7	35,2—29,7	29,0—18,7	18,6—18,1
51,0	8,15 <sup>12,0</sup> —9,3	8,35 <sup>11,05</sup> —9,8	8,85 <sup>10,65</sup> —9,3	32,0—22,5	24,4—11,3	16,9—12,7
57,8	9,3 <sup>13,0</sup> —10,75	11,45 <sup>13,45</sup> —12,2	12,3 <sup>13,55</sup> —12,9	28,5—17,3	14,9—8,6	9,2—4,8
Трубы $\varnothing 20 \times 1,0$ мм						
19,0	26,55 <sup>37,55</sup> —28,7	28,15 <sup>36,5</sup> —30,15	30,25 <sup>36,0</sup> —31,85	29,3—23,6	22,8—17,3	15,9—11,5
43,75	72,6 <sup>84,3</sup> —77,1	73,2 <sup>83,25</sup> —77,2	74,0 <sup>82,25</sup> —78,15	13,8—8,5	12,0—7,3	10,0—5,0

\* Верхняя строка — без ультразвука; нижняя — с ультразвуком.

Т а б л и ц а 2. Влияние ультразвука на усилие волочения при оправочном волочении

Толщина стенки трубы, мм	Вытяж- ка по стенке	Общая вытяж- ка	Усилие волочения, кН		Эффективность применения ультразвука, %
			без ультра- звука	с ультразву- ком	
При скорости волочения 0,08 м/с					
0,69	1,25	1,38	11,6	8,2	29,3
0,69	1,41	1,55	12,6	10,4	17,4
0,9	1,44	1,62	15,0	12,8	14,7
0,9	1,54	1,72	17,0	14,6	14,1
1,0	1,43	1,62	18,4	16,2	11,9
1,0	1,63	1,84	20,4	18,4	9,81
1,0	1,79	2,01	21,8	20,0	8,26
При скорости волочения 0,27 м/с					
0,685	1,25	1,38	11,6	8,8	24,1
0,695	1,43	1,57	12,5	10,8	13,6
0,9	1,43	1,60	15,1	13,9	12,5
0,915	1,63	1,86	18,0	16,0	11,1
0,9	1,84	2,04	19,0	17,0	10,5
1,0	1,43	1,69	18,3	16,5	9,84
1,0	1,79	2,0	22,0	21,0	4,5

Оправочное волочение труб с внутренним диаметром 18 мм производили при скоростях 0,08 и 0,27 м/с. Оправки были изготовлены из стали 20ХНЗА и имели после термообработки твердость Н RC 60–62. Твердосплавные волокни имели рабочий диаметр 17,5 мм. Вытяжка по стенке  $\mu_t$  определялась отношением первоначальной толщины стенки трубы к конечной, т.е.

$$\mu_t = \frac{t_n}{t_k}$$

Анализ данных табл. 2 показывает, что применение ультразвука при волочении на подвижной оправке с продольными колебаниями волокни позволяет снизить усилие волочения, причем с увеличением обжатия, толщины стенки трубы и скорости процесса степень снижения усилия волочения под действием ультразвука уменьшается.

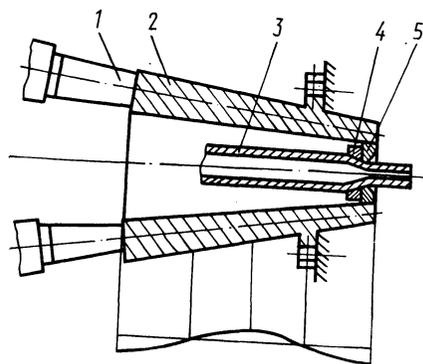


Рис. 1. Схема волочения труб с ультразвуком с использованием конического волновода:

- 1 — преобразователь; 2 — волновод;  
3 — труба; 4 — дополнительная волока;  
5 — рабочая волока

Возрастание нагрузки на ультразвуковую колебательную систему, вызываемое увеличением обжатия, толщины стенки и диаметра протягиваемой трубы, приводит во всех случаях к снижению эффективности воздействия ультразвука за счет затухания амплитуды колебаний. Это вызывает необходимость увеличения мощности ультразвуковых колебаний, подводимой к единице объема деформированной зоны.

Повышение энергетической прочности колебательной системы возможно лишь при одновременном увеличении площади сечения волновода с возрастанием количества подводимой ультразвуковой энергии. Поэтому нами была создана и исследована система (рис. 1), состоящая из двух магнестрикционных преобразователей и конического волновода с увеличенным поперечным сечением.

Проведенные эксперименты показали (рис. 2,3), что эффективность воздействия ультразвуковых колебаний возросла в 1,6–1,82 раза при безопрочном волочении труб и в 1,45–1,73 раза при волочении труб на подвижной оправке.

Следует заметить, что при волочении с малыми скоростями (0,08 м/с) при большой интенсивности ультразвуковых колебаний (амплитуда смещения более 20 мкм) на трубе наблюдались риски, задиры, налипания вследствие схватывания между поверхностью трубы и волоки. Процесс волочения в этом слу-

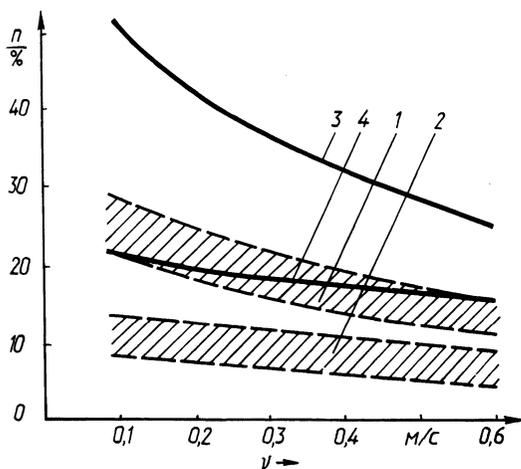


Рис. 2. Зависимость эффективности применения ультразвука  $n$  от степени и скорости деформации при безопрочном волочении труб из X18N10T о 20 1 мм: через обычный волновод при степени деформации  $\epsilon = 19,0\%$  (1),  $\epsilon = 43,75\%$  (2) и через конический волновод при  $\epsilon = 19,0\%$  (3) и  $\epsilon = 43,75\%$  (4)

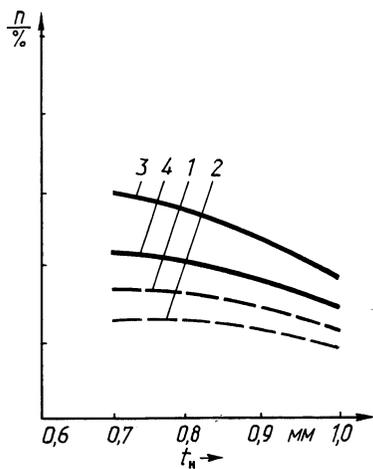


Рис. 3. Зависимость эффективности применения ультразвука от толщины стенки трубы  $t_n$  и скорости волочения при вытяжке на стенке  $\mu_t = 1,4$  для труб из X18N10T с внутренним диаметром 18,0 мм при опрочном волочении через обычный волновод со скоростями 0,08 (1), 0,27 м/с (2) и через конический волновод со скоростями 0,08 (3) и 0,27 м/с (4)

чае протекал нестабильно и усилие волочения возрастало. Это вызывает необходимость подбора в таких условиях оптимальной мощности (интенсивности) подводимых ультразвуковых колебаний.

Таким образом, колебательные системы с увеличенной площадью поперечного сечения и двумя магнитострикционными преобразователями могут быть успешно использованы при значительных усилиях волочения, когда эффективность обычных ультразвуковых колебательных систем невысока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 358048 (СССР). Устройство для волочения металла с колебаниями инструмента/В.П. Северденко, А.В. Степаненко, С.Н. Винерский, Н.Е. Кулага. — Оpubл. в Б.И. 1972, № 34.

УДК 531.781.2

О.М. ДЬЯКОНОВ, канд.техн.наук (БПИ)

### ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ПРОЦЕССАХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

Геометрическая форма бойка является одним из основных факторов, оказывающих значительное влияние на характер изменения усилия высокоскоростного выдавливания полости в заготовке. Для оценки этого влияния применялись бойки с различной формой рабочего наконечника: "цилиндр", "цилиндр с радиусом закругления", "полусфера", "конус". Выдавливание осуществлялось по схеме закрытой прошивки. При этом выдерживались постоянными начальная скорость деформирования 60 м/с, масса бойка 1,7 кг, степень максимального обжатия заготовки  $\lambda = 0,174$ , материал заготовки (сплав Д16). Измерение усилий производилось по методике, изложенной в работе [2].

С увеличением степени заостренности (радиуса закругления) цилиндрического наконечника бойка увеличивается глубина полости, растет длительность процесса выдавливания (рис. 1). При этом пик нагрузки смещается вправо по оси времени. Данная закономерность объясняется уменьшением площади контакта бойка с заготовкой и присоединенной к бойку массы металла в начальной стадии соударения. Это приводит к снижению отрицательной мощности сил инерции, действующих со стороны заготовки на боек в период разгона присоединенной массы.

Цилиндрический наконечник бойка при предельном радиусе закругления переходит в полусферический. В первые 100 мкс деформирующее усилие изменяется незначительно, оставаясь близким к нулю. Когда же площадь контакта бойка с заготовкой приближается к площади основания полусферы, усилие начинает интенсивно возрастать, достигая максимума в момент времени 100 мкс.

Таким образом, степень заостренности бойка определяет момент появления пиковой нагрузки. Значение же нагрузки практически не зависит от геометрического фактора. Об этом можно судить также из сопоставления диаг-