

А.В.Степаненко, докт.техн.наук,
Хан Дык Ким, канд.техн.наук,
М.В.Логачев, канд.техн.наук
В.С.Запороженко

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБ

Одним из новых перспективных направлений, позволяющих интенсифицировать процесс изготовления труб, является применение ультразвука. Однако остается нерешенной проблема безоправочного и особенно оправочного волочения труб диаметром более 200 мм с наложением на инструмент ультразвуковых колебаний.

Стандартные волокнистые материалы из твердого сплава для волочения труб исходным диаметром 40/45 мм имеют наружный диаметр порядка 70 мм. С учетом этого обстоятельства на кафедре "Машины и технология обработки металлов давлением" изготовлен волновод, выполненный в виде цилиндра с постоянными внутренним и внешним диаметрами. Размеры цилиндра определяются из уравнений Похгаммера [1].

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \Delta}{\partial r} + 2\mu \frac{\partial W}{\partial z}; \\ \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2} &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \frac{2\mu}{r} \cdot \frac{\partial(rW)}{\partial r}; \end{aligned} \right\} (1)$$

где U_r , U_z - радиальное и продольное смещения; λ, μ - постоянные Ламэ; ρ - плотность материала;

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rU_r)}{\partial r} + \frac{\partial U_z}{\partial z}; \\ W &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_r}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial r} \right); \end{aligned} \right\} (2)$$

Решение уравнений (1) для цилиндра с осевым отверстием имеет вид [2]

$$\left. \begin{aligned}
 U_r &= [A_1 h_1 I_1(h_1 r) + A_2 h_1 K_1(h_1 r) - A_3 k_1 J_1(k_1 r) - A_4 k_1 Y_1(k_1 r)] \sin \gamma z e^{i\omega t}; \\
 U_z &= \left\{ \gamma [A_1 I_0(h_1 r) + A_2 K_0(h_1 r)] + \left(\gamma - \frac{\rho \omega^2}{\mu \gamma} \right) \times \right. \\
 &\quad \left. \times [A_3 J_0(k_1 r) + A_4 Y_0(k_1 r)] \right\} \cos \gamma z e^{i\omega},
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $J_0, Y_0, J_1, Y_1, I_0, I_1, K_0, K_1$ - функция Бесселя и Неймана нулевого и первого порядка с вещественным и мнимым аргументами соответственно; γ - волновое число; ω - угловая частота колебаний;

$$h_1 = \sqrt{\gamma^2 - \frac{\rho \omega^2}{\lambda + 2\mu}}; \quad k_1 = \sqrt{\frac{\rho \omega^2}{\mu} - \gamma^2}.$$

Здесь A_i ($i = 1, 2, 3, 4$) - постоянные интегрирования, определяющиеся из краевых условий

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_{r r} &= 0; \\
 \tau_{r z} &= 0;
 \end{aligned} \right\} \quad \text{при } r = R_0, R, \quad (4)$$

где R_0, R - внутренний и внешний радиусы цилиндра.

Решение выражения (3) с учетом краевых условий (4) относительно γ можно представить следующей матрицей:

$$\begin{vmatrix}
 B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\
 B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\
 B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\
 B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44}
 \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где B_{ij} - постоянная, зависящая от R_0, h, f и γ . Волновое число γ должно удовлетворять следующему условию [3]:

$$\left[\frac{\rho\omega^2}{\lambda+2\mu} \right]^{\frac{1}{2}} \leq \delta \leq \left[\frac{\rho\omega^2}{\mu} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Из уравнения (5) при заданных δ из условия (6), R_0 и f , находим R . Анализ результатов расчета показывает, что с увеличением радиуса осевого отверстия R_0 величина наружного радиуса цилиндра R уменьшается.

При возбуждении колебаний в радиальном направлении тремя магнитострикционными преобразователями 1 (рис. 1) в волноводе 2 возникают радиальные (эпюры стоячей волны 3, 4) и продольные (эпюра 5) ультразвуковые колебания. Вследствие уменьшения толщины стенки волновода с увеличением R_0 (например, при $f = 18$ кгц, $2R_0 = 70$ мм – толщина стенки $H = 28$ мм) амплитуда продольных колебаний имеет небольшую величину по сравнению с амплитудой радиальных колебаний и практически ею можно пренебречь. Наряду с радиальными могут появляться изгибные или поверхностные волны в зависимости от резонансных размеров волновода. В нашем случае возникает поверхностная волна (эпюра 6), так как длина волновода кратна половине длины поверхностной волны [4].

В результате суперпозиции этих колебаний возникает стоячая комбинированная волна (эпюра 7), в одной из пучностей

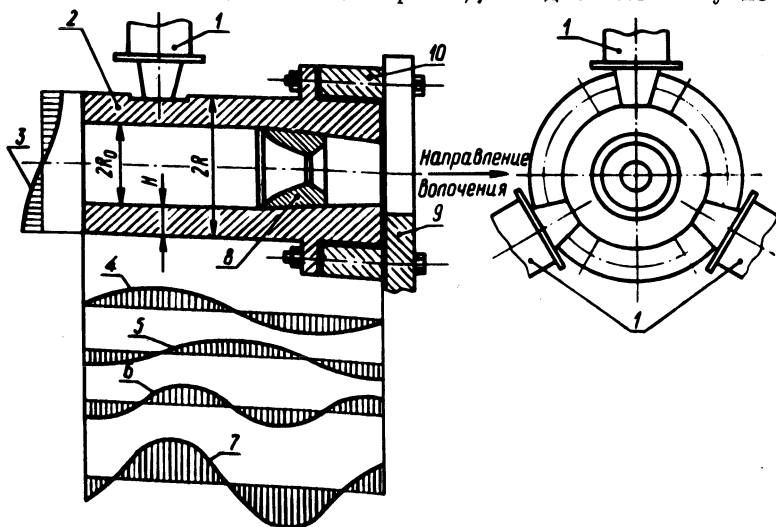


Рис. 1. Схема устройства для волочения труб с радиальными колебаниями инструмента.

колебаний которой установлена волока 8. Крепление волновода к волоочильной доске 9 цепного стана производили через втулку 10 с помощью фланца, расположенного на расстоянии четверти длины продольной волны от торца волновода.

Возбуждение волновода производили преобразователями типа ПМС-15А-18 с одинаковой частотой 17850 ± 10 Гц, которые подключались параллельно к генератору УЗГ-10У. Для измерения амплитуды и частоты колебаний применялись виброметр УБВ-2М и частотомер ЧЗ-3А. Для регистрации усилия волочения и растягивающих напряжений на стержне закрепленной оправки использовали месдозы сжатия с наклееными датчиками сопротивления, сигналы от которых через тензометрический усилитель ТА-5 фиксировали на ленте быстродействующего самопишущего прибора Н 320-3, В качестве смазки применяли сухое мыло.

Результаты волочения труб из углеродистой стали 20 с ϕ 42 x 1,15 на ϕ 35 x 1,15 мм ($\epsilon = 17\%$) с различной скоростью и интенсивностью (амплитудой) радиальных колебаний волокни показывают, что с увеличением колебаний и уменьшением скорости волочения степень снижения усилия волочения под действием ультразвука возрастает и достигает 25% при скорости 0,08 м/с и амплитуде колебаний волокни в ненагруженном состоянии 4 мкм. Резонансная частота ультразвуковых колебаний волновода в свободном состоянии была равна 17690 Гц, а при волочении - 17780 Гц, что свидетельствует об устойчивой работе колебательной системы в процессе волочения стальных труб.

При волочении труб из стали 20 на закрепленной оправке с ϕ 42 x 1,15 на ϕ 36 x 0,9 мм ($\epsilon = 32,8\%$) со скоростью 0,08 м/с при амплитуде радиальных колебаний 4 мкм общее усилие волочения под действием ультразвука снизилось с 39 кН (3900 кгс) до 31,4 кН (3140 кгс), а усилие на стержне оправки - с 8,5 кН (850 кгс) до 4,45 кН (445 кгс), т.е. на 19,5 и 47,6% соответственно. Значительное снижение усилия на оправке происходит, очевидно из-за того, что труба в процессе волочения совершает изгибные ультразвуковые колебания. Вследствие этого имеет место периодический полный или частичный разрыв контакта между трубой - оправкой и уменьшение средней за период колебания силы трения.

Производственный маршрут оправочного волочения углеродистых сталей такого размера включает два прохода: ϕ 42 x 1,15 мм \rightarrow ϕ 38 x 0,95 мм \rightarrow ϕ 35 x 0,80 мм со степе-

нями деформации 25% и 22,3% на каждом из них. Наложение комбинированных колебаний на волоку позволило производить волочение с ϕ 42 x 1,15 мм на ϕ 0,80 мм за один проход со степенью деформации 41,8%, что дает возможность повысить производительность процесса изготовления труб и исключить вспомогательные операции: обрезку и забивку головок, термообработку, покрытие и омыливание труб на одном проходе.

Л и т е р а т у р а

1. Микер Т. и Мейтцлер А. Волноводное распространение в цилиндрах и пластинках. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Т. 1. Ч.А. Под ред. Л.Д. Розенберга. М., 1966. 2. Ким Хан Дык. Некоторые вопросы ультразвуковой обработки больших поверхностей. Автореф. канд.дис. Л., 1969. 3. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. М., 1971. 4. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы, М., 1971.

УДК 621.777-423

Е.И.Понкратин

ОБ ИЗМЕНЕНИИ РАЗМЕРОВ ПРОФИЛЕЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Основным показателем работоспособности матриц для горячего прессования стальных фасонных профилей (СФП) является их размерная стойкость, т.е. способность матриц к сохранению размеров в процессе работы и в конечном итоге к поддержанию прессуемых профилей в пределах допуска, что является наиболее важным.

В работе проводили исследование изменения размеров профилей при сравнительных испытаниях диффузионно-упрочненных матриц во время прессования Т-образного профиля из стали 50 на горизонтальном гидравлическом прессе конструкции КЗТС. Диаметр заготовки - 100 мм, длина - 550 мм. Температура нагрева заготовки перед прессованием - 1170⁰С. Усилие и время прессования - 600 тс. и 1,5-2,0 с соответственно.

Испытывали матрицы из стали 3Х2В8Ф после различных видов диффузионного упрочнения, а также матрицы из опытной стали с добавками Al и Ti, подвергнутые азотированию. Путь трения за одну прессовку составлял 4 м.

Оценку стойкости матриц проводили по изменению размеров темплетов, вырезаемых из отпрессованных профилей. Темплеты