

6. Теоретические основыковки и горячей объемной штамповки/ Е.М.Макушок, А.С.Магусевич, В.П.Северденко, В.М.Сегал. - Минск: Наука и техника, 1968. - 408 с.

УДК 621.774.372:621.9.048.6

С.Н.Винерский, инженер (БПИ)

СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРУБ НА НЕПОДВИЖНОЙ ОПРАВКЕ, СОВЕРШАЮЩЕЙ ПРОДОЛЬНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Известно [1], что деформационная зона при обычном волочении на неподвижной цилиндрической оправке включает три участка: осаживания (безоправочного волочения), оправочного волочения и калибровки. Причем силы трения между трубой и оправкой на участках оправочного волочения и калибровки направлены к входу трубы в волоку, препятствуют течению металла и повышают удельные затраты энергии на осуществление процесса.

Рассмотрим волочение трубы при продольных ультразвуковых колебаниях оправки, используя методику [2] для безоправочного волочения.

При движении оправки в направлении волочения в течение времени t_1 (рис. 1), когда колебательная скорость оправки $V_{\text{кол}}$ меньше скорости движения трубы у входа в волоку $V_{\text{вх}} = \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_{\text{F}}}$ ($V_{\text{вол}}$ - скорость волочения; μ_{F} - вытяжка по поперечному сечению трубы), между трубой и колеблющейся оправкой будет существовать постоянно действующая сила трения, препятствующая течению металла.

В промежуток времени t_2 (рис. 1); когда $V_{\text{вх}} < V_{\text{кол}} < V_{\text{вол}}$, между трубой и оправкой действуют силы трения, направленные в зоне оправочного волочения как в сторону волочения (положительные силы трения), так и в сторону входа трубы в волоку (отрицательные силы трения), а в зоне калибровки - в сторону, противоположную волочению, как при обычном процессе, без применения ультразвука.

Появление этих сил приводит к изменению напряженного состояния в зоне оправочного волочения, снижению усилия волочения и уменьшению продольных растягивающих напряжений [3].

На третьем участке (рис. 1), когда $V_{\text{кол}} > V_{\text{вол}}$, силы трения на контактной поверхности "труба - оправка" направлены в сторону волочения, а напряженное состояние в очаге деформации соответствует процессу волочения труб на подвижной оправке.

Снижение продольных растягивающих напряжений в деформируемом металле позволяет увеличить степень деформации за переход до значений, близких к вытяжке при волочении на подвижной оправке.

На следующей стадии процесса (рис. 1), когда колебательная скорость оправки уменьшается от $V_{\text{вол}}$ до $V_{\text{вх}}$, силы трения между трубой и оправкой, как и на втором участке (рис. 1), в зоне оправочного волочения будут направлены в разные стороны, а в зоне калибровки – в сторону, противоположную волочению.

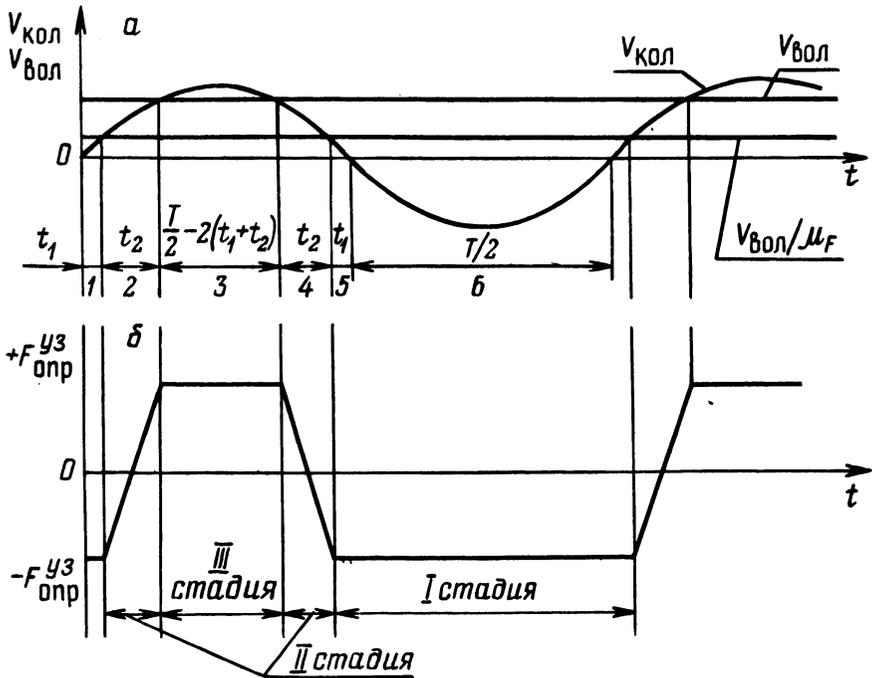


Рис. 1. Зависимость колебательной скорости оправки $V_{\text{кол}}$, скорости волочения $V_{\text{вол}}$ и скорости трубы у входа в волоку $V_{\text{вх}} = \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F}$ от времени t (а) и происходящее при этом изменение силы трения между трубой и оправкой (б).

Когда колебательная скорость оправки, движущейся в направлении волочения, меньше скорости движения трубы у входа в волоку, т. е. $V_{\text{кол}} < V_{\text{вх}}$ (рис. 1), и оправка движется в сторону, противоположную волочению (рис. 1), между колеблющейся оправкой и трубой существует постоянно действующая сила трения, препятствующая течению металла.

Таким образом, в случае волочения на неподвижной оправке с применением ультразвука, когда амплитуда колебательной скорости оправки больше скорости волочения, различают три характерные стадии, которые отличаются напряженным состоянием очага деформации и направлением сил трения на поверхности контакта "труба - оправка".

Продолжительность стадий процесса волочения с ультразвуком за время одного периода колебаний T соответственно равна: первой - $\frac{T}{2} + 2t_1$, второй - $2t_2$, третьей - $\frac{T}{2} - 2(t_1 + t_2)$.

Выразив время t_1 и t_2 через амплитуду колебательной скорости и скорость волочения (рис. 1), получим

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A}, \text{ а } t_2 = \frac{1}{\omega} \left(\arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} - \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right).$$

Следовательно, продолжительность трех стадий равна:

$$\frac{1}{\omega} \left(\pi + 2 \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right) = \frac{2}{\omega} \arccos \left(- \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right);$$

$$\frac{2}{\omega} \left(\arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} - \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right);$$

$$\frac{1}{\omega} \left(\pi - 2 \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} \right) = \frac{2}{\omega} \arccos \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}.$$

Постоянная сила трения, препятствующая движению металла, действует в промежуток времени $\frac{2}{\omega} \arccos \left(- \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right)$. В течение времени $\frac{2}{\omega} \arccos \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}$ сила трения между трубой и оправкой постоянна и способствует волочению. В остальную часть периода, равную $\frac{2}{\omega} \left(\arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} - \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right)$, сила трения непостоянна по величине и направлению.

Таким образом, приложение ультразвуковых колебаний к неподвижной оправке приводит к значительному снижению усилия волочения, а следовательно, и продольных напряжений в течение $\frac{2}{\omega} \arccos \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}$ и частичному их снижению за время $\frac{2}{\omega} \left(\arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} - \arcsin \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A} \right)$.

С уменьшением скорости волочения время, в течение которого силы трения препятствуют течению металла, уменьшается, а продолжительность II и III стадий увеличивается, т. е. чем меньше скорость волочения по сравнению с колебательной ско-

ростью оправки, тем больше величина снижения сил трения между оправкой и трубой.

Влияние ультразвуковых колебаний проявляется уже при $V_{\text{кол}} > \frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F}$ за счет существования II стадии процесса и не-

которого снижения сил трения в конусной части очага деформации. Значительного снижения тянущего усилия (продольных напряжений) можно достигнуть, когда $V_{\text{кол}} > V_{\text{вол}}$, причем эффективность процесса волочения с ультразвуком тем выше, чем больше колебательная скорость оправки по отношению к скорости волочения.

Усредненная сила трения в любой точке поверхности контакта "оправка - труба" под действием ультразвука уменьшается в K раз

$$K = \frac{T}{\left(\frac{T}{2} + 2t_1\right) - \left[\frac{T}{2} - 2(t_1 + t_2)\right]} = \frac{\pi}{\arccos\left(-\frac{V_{\text{вол}}}{\mu_F \omega A}\right) - \arccos\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}}$$

Заменив величину $V_{\text{вол}}$ средней скоростью движения металла по контактной поверхности "оправка - труба"

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(V_{\text{вол}} + V_{\text{вх}}) = \frac{V_{\text{вол}}(1 + \mu_F)}{2\mu_F}$$

найдем среднюю за период колебания силу трения между оправкой и трубой при волочении с ультразвуком

$$F_{\text{опр}}^{\text{уз}} = \frac{1}{\pi} \left\{ \arccos\left[-\frac{V_{\text{вол}}(1 + \mu_F)}{2\mu_F^2 \omega A}\right] - \arccos\frac{V_{\text{вол}}(1 + \mu_F)}{2\mu_F \omega A} \right\} F_{\text{опр}}$$

где $F_{\text{опр}}$ - сила трения на поверхности контакта "оправка - труба" при волочении без ультразвука.

Степень снижения сил трения под действием ультразвука составит

$$n = \frac{F_{\text{опр}} - F_{\text{опр}}^{\text{уз}}}{F_{\text{опр}}} \cdot 100 = \frac{1}{\pi} \left[\arccos\frac{V_{\text{вол}}(1 + \mu_F)}{2\mu_F^2 \omega A} + \arccos\frac{V_{\text{вол}}(1 + \mu_F)}{2\mu_F \omega A} \right] \cdot 100, \%$$

На рис. 2 представлен график зависимости степени снижения сил трения под действием ультразвука n от вытяжки μ_F для различных значений отношений $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}$, полученный путем анализа последнего выражения.

Степень снижения сил трения под действием ультразвука для определенной вытяжки с ростом отношения скорости волочения

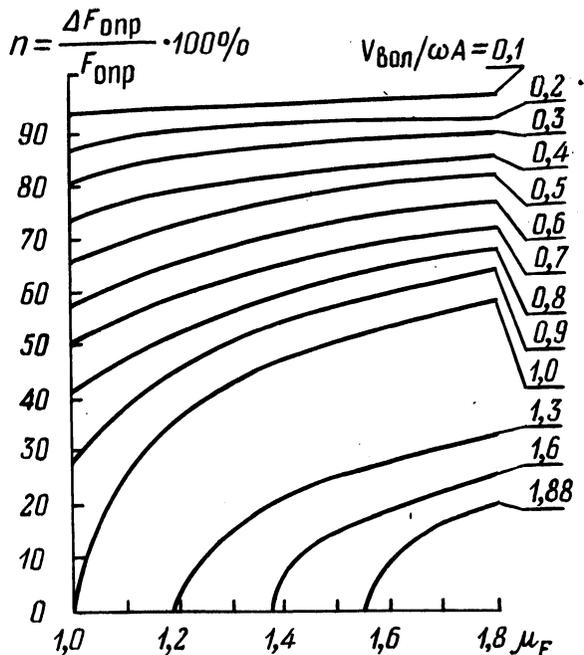


Рис. 2. Зависимость степени снижения сил трения под действием ультразвука n от вытяжки по поперечному сечению трубы μ_F для различных значений $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}$.

к колебательной скорости оправки $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A}$ уменьшается. Так, например, если для вытяжки $\mu_F = 1,2$ степень снижения сил трения под действием ультразвука при $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} = 0,2$ составляет 88%, то при $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} = 1,0$ она равна 34,8% и не наблюдается совсем при $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} > 1,39$. Анализ графика показывает, что так как при волочении на неподвижной оправке вытяжка не превышает 1,55, то снижения сил трения под действием ультразвука при $\frac{V_{\text{вол}}}{\omega A} > 1,88$ уже не наблюдается.

Следовательно, применение ультразвуковых колебаний при волочении на неподвижной оправке со скоростью, превышающей колебательную скорость оправки более чем в 1,88 раза, не дает никакого эффекта с точки зрения снижения сил трения.

Л и т е р а т у р а

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. - М.: Металлургия, 1971. - 448 с. 2. Вердеревский В.А., Рымша О.М., Мицкевич А.М. Снижение усилия волочения металлов в присутствии ультразвука. - В сб.: Ультразвуковая техника, ЦИНТИАМ, вып. 5, 1964, с. 18-21. 3. Северденко В.П., Степаненко А.В., Винерский С.Н. Контактное трение при волочении труб на оправке с продольными ультразвуковыми колебаниями. - В сб.: Прочность - пластичность материалов в ультразвуковом поле. Ростов-на-Дону, 1976, с. 3-5.

УДК 621.771.23:621.771.014

С.В.Воронов, ст. науч. сотр.,
Д.Г.Девойно, канд. техн. наук,
А.В.Степаненко, докт. техн. наук (БПИ)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗГИБА ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКЕ

Несимметричный процесс прокатки полос находит все более широкое применение в практике прокатного производства, поскольку позволяет значительно снизить энергосиловые параметры процесса, увеличить предел прокатываемости полос по толщине, снизить разнотолщинность листов, расширить сортамент профиларазмеров. Он может быть использован для повышения качества отделки поверхности листов, а также для прокатки биметаллов.

Одной из особенностей несимметричного процесса прокатки является изгиб выходящего из валков конца полосы. Несмотря на значительное количество экспериментальных работ, посвященных исследованию изгиба в различных случаях несимметрии процесса - при прокатке в валках неравного диаметра [1-3], в валках равного диаметра с рассогласованием угловых скоростей [4], при прокатке в асимметричных условиях трения [5] и при наклонной задаче полосы в валки, условия, устанавливающие направление и величину изгиба, определены недостаточно.

Опыты показывают, что на величину и направление изгиба