

### ПРОКАТКА ПОЛОС СИММЕТРИЧНО УЗЛА СМЕЩЕНИЙ ПРОДОЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Прокатку полос с продольными ультразвуковыми колебаниями можно производить симметрично пучности или узла смещений стоячей ультразвуковой волны с синфазными или противофазными колебаниями валков. Если очаг деформации расположен симметрично узла смещений и валки колеблются синфазно, в полосе по ее ширине возникает знакопеременные напряжения сжатия-растяжения от ультразвуковых колебаний, которые распределяются синусоидально, причем максимальная их величина будет в центре полосы.

В течение доли периода колебания, когда полоса подвергается действию сжимающих напряжений от ультразвуковых колебаний, напряженное состояние и условие пластичности практически не изменяется по сравнению с обычной прокаткой. В течение же промежутка времени  $t$ , когда полоса подвергается действию растягивающих напряжений от ультразвуковых колебаний, минимальным главным напряжением становится растягивающее, действующее вдоль ширины полосы, т.е.  $\sigma_2$ . Сжимающее напряжение  $\sigma_1$ , действующее вдоль направления прокатки, становится средним по величине и оказывает незначительное влияние на сопротивление деформации. Условие пластичности в этом случае записывается в виде

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{\phi},$$

где  $\sigma_{\phi}$  - сопротивление пластической деформации при линейном напряженном состоянии с учетом влияния температуры, степени и скорости деформации.

Из полученной формулы следует, что  $\sigma_1 = \sigma_{\phi} - \sigma_2$ , т.е. нормальные удельные давления по дуге захвата в течение промежутка времени  $t$  становятся меньшими  $\sigma_{\phi}$ . Среднее за период колебания удельное давление при прокатке полосы симметрично узла смещений продольных колебаний и поэтому будет меньше, чем при обычной прокатке.

Прокатку полос шириной 20 мм из меди МЗ толщиной 0,41 мм и алюминия А0 толщиной 0,52 мм производили на прокатном стане, валки которого диаметром 50 мм совершали продольные синфазные ультразвуковые колебания от двух магнитострикционных преобразователей

ПМС 15А-18. Амплитуда в пучности смещений составляла 0,012 мм, скорость прокатки - 0,083 м/сек, смазкой служило машинное масло. Валки были изготовлены из стали ШХ15, твердость после термообработки 62 HRC, шероховатость поверхности соответствовала 7-му классу чистоты по ГОСТ 2789-59.

Результаты исследований приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Эффект от воздействия продольных ультразвуковых колебаний при прокатке

Материал	Вид прокатки	Относительное обжатие, %	Давление металла на валки при прокатке, кг	Эффект от воздействия ультразвука, %
Медь М3	Без ультразвука	10	950	46,5
	С ультразвуком		510	
	Без ультразвука	20	1470	37,4
	С ультразвуком		920	
Медь М3	Без ультразвука	30	1830	32,2
	С ультразвуком		1240	
	Без ультразвука	40	2120	80,0
	С ультразвуком		1470	
Алюминий А0	Без ультразвука	40	840	42,8
	С ультразвуком		480	
	Без ультразвука	50	1150	39
	С ультразвуком		670	
Алюминий А0	Без ультразвука	60	1400	36,8
	С ультразвуком		885	
	Без ультразвука	70	1740	35,6
	С ультразвуком		1120	

Из приведенных в таблице данных видно, что с увеличением обжатия эффект от воздействия ультразвука снижается. Обусловлено это, во-первых, некоторым падением амплитуды колебаний валков с увеличением нагрузки и, во-вторых, большей скоростью течения металла в уширение, в результате чего уменьшаются растягивающие напряжения от ультразвуковых колебаний, действующие по ширине полосы.

## РАСХОД ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОКАТКЕ С УЛЬТРАЗВУКОМ

Эффективность применения ультразвука при прокатке с точки зрения энергозатрат может быть оценена как

$$H_N = \frac{N - N_{2y}}{N} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $N$  — мощность, потребляемая станком при обычной прокатке;

$N_{2y} = N_y + N_2$  — мощность, потребляемая станком ( $N_y$ ) и ультразвуковым генератором ( $N_2$ ) при прокатке с наложением колебаний.

Величины  $N$  и  $N_y$  могут быть выражены через мощность на шпинделях стана при прокатке в обычных условиях ( $N_{ш}$ ) и с ультразвуком ( $N'_{ш}$ ):

$$N = \frac{N_{ш}}{\eta} \quad ; \quad (2)$$

$$N_y = \frac{N'_{ш}}{\eta} \quad , \quad (3)$$

где  $\eta$  — к.п.д. стана.

Мощность, потребляемая ультразвуковым генератором, равна

$$N_2 = \frac{N_a}{\eta_z \eta_n} \quad , \quad (4)$$

где  $N_a$  — акустическая мощность источника колебаний (преобразователя);

$\eta_z$ ;  $\eta_n$  — соответственно к.п.д. ультразвукового генератора и преобразователя.

Используя выражения (2-4), уравнение (1) запишем в виде

$$H_N = \left( 1 - \frac{N'_{ш}}{N_{ш}} - \frac{N_a \eta}{N_{ш} \eta_n \eta_z} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

Мощность  $N_{ш}$  и  $N'_{ш}$  в уравнении (4) выразим через крутящие моменты

$$N_N = \left( 1 - \frac{M_{ш}}{M'_{ш}} - \frac{9520 \cdot N_a \cdot \rho}{M_{ш} \cdot n \cdot \rho_n \cdot \rho_s} \right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $M_{ш}$  и  $M'_{ш}$  - крутящие моменты при прокатке в обычных условиях и с ультразвуком ( $N_M$ );

$n$  - число оборотов валика в минуту.

Запишем уравнение (5) в виде

$$N_N = \frac{M_{ш} - M'_{ш}}{M_{ш}} \cdot 100 - \frac{9520 \cdot N_a \cdot \rho}{M_{ш} \cdot n \cdot \rho_n \cdot \rho_s} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Учитывая, что  $\frac{M_{ш} - M'_{ш}}{M_{ш}} \cdot 100$  - эффективность ультразвука по снижению крутящего момента на шпинделях стана, последнее уравнение примет вид

$$N_N = N_M - \frac{952000 \cdot N_a \cdot \rho}{M_{ш} \cdot n \cdot \rho_n \cdot \rho_s}, \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что эффективность применения ультразвука при прокатке с точки зрения энергосбережения прямо пропорционально зависит от степени снижения крутящего момента на валиках под действием колебаний, т.е. степени воздействия ультразвука на обрабатываемый металл и контактные условия в очаге деформации, и.п.д. ультразвукового оборудования, скорости прокатки и крутящего момента на шпинделях стана при обычной прокатке.