

ний в уровень износостойкости образцов. Проведение же серии экспериментов, предназначенных для изучения влияния структур отпуска на характер износа углеродистых сталей, позволило сделать следующие выводы. Установлено, что в интервале температур отпуска 200–500°С износостойкость углеродистых сталей практически не изменяется, хотя исходная твердость в значительной степени зависит от температуры. Снижение износостойкости при температурах отпуска выше 500°С связано с заметным уменьшением объемной прочности исследуемых сталей, причем износ (точнее формоизменение) в этом случае носит в основном характер смятия поверхностных слоев.

Установлено, что в процессе износных испытаний в поверхностных слоях исследуемых сталей происходит формирование структуры, соответствующей температурно-силовым условиям испытаний, независимо от исходного структурного состояния. При этом практически независимо от температуры отпуска для каждой стали характерна определенная величина микротвердости вблизи поверхности износа вследствие повышенного уровня дефектов кристаллического строения в приконтактных зонах. Максимального значения она достигает у заэвтектоидных сталей, минимального – у доэвтектоидных.

Глубина распространения деформационных процессов при износных испытаниях в данных температурно-силовых условиях определяется объемной прочностью приконтактных слоев стали: чем они выше, тем меньше протяженность зоны повышенной микротвердости. При этом следует отметить, что микротвердость поверхности износа образцов углеродистых сталей практически не зависит от термической обработки, а определяется химическим составом стали.

УДК 621.96.048

В.П. Северденко, акад. АН БССР, проф.,
В.С. Пашенко, канд. техн. наук,
В.А. Варавин

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАДИАЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА КОНТАКТНОЕ ТРЕНИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Попытки усовершенствовать процесс вытяжки во многих случаях направлен на значительное уменьшение сил контактного трения, возникающих между заготовкой, поверхностью матрицы

и прижимом. С этой точки зрения перспективным является процесс вытяжки с ультразвуком [1, 2, 3].

Рассмотрим вытяжку с наложением радиальных ультразвуковых колебаний на матрицу и их влияние на контактное трение с точки зрения кинематики скольжения.

Допустим, что в процессе вытяжки каждая точка рабочей поверхности матрицы совершает радиальные ультразвуковые колебания с амплитудой ξ_0 , причем "схватывание" и отрыв контактных поверхностей заготовки и матрицы отсутствует.

При вытяжке с ультразвуком на кинематику скольжения решающее влияние оказывает направление введения УЗК в зону контакта относительно вектора сил трения и контактной поверхности [3, 4]. На участке плоского фланца (рис. 1) вектор колебательной скорости $\vec{V}_{кр}$ параллелен поверхности контакта и вектору скорости скольжения \vec{V}_c . Сила трения, как известно, имеет направление противоположное вектору относительной

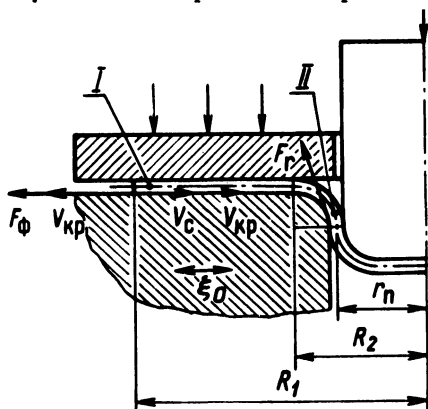


Рис. 1. Схема вытяжки с радиальными ультразвуковыми колебаниями матрицы: I – участок плоского фланца, II – тороидальный участок; F_ϕ , F_Γ – силы трения на соответствующих участках при вытяжке в обычных условиях.

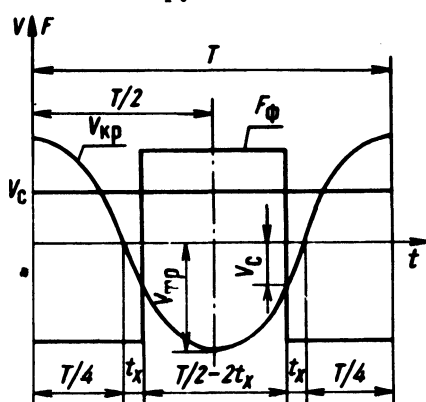


Рис. 2. Изменение колебательной скорости, скорости скольжения и силы трения в течение периода колебаний.

скорости. Поскольку направление $\vec{V}_{кр}$ в течение периода колебаний меняется на противоположное, следовательно, направление вектора относительной скорости и сил трения определяется соотношением скоростей скольжения заготовки по поверхности матрицы V_c и колебательной скорости частиц поверхности матрицы в месте контакта $V_{кр}$. На рис. 2 показано изменение колебательной скорости, скорости скольжения и си-

лы трения в течение периода колебаний. Из рис. 2 видно, что в течение периода колебаний сила трения меняет свое направление. Следовательно, средняя фиктивная сила трения при наложении ультразвука меньше по сравнению с вытяжкой в обычных условиях.

Усилие прижима при вытяжке распределяется по сравнительно узкой кольцевой части фланца, граничащей с наружным краем заготовки. Поэтому сила трения во фланце сосредоточена вблизи контура заготовки, а скорость скольжения будет определяться скоростью радиального перемещения контура заготовки [5]

$$V_c = V_0 \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

где V_0 - скорость деформирования; R_1 - текущий радиус контура заготовки; R_2 - радиус начала закругления на входе в матрицу.

Текущий радиус контура заготовки в первом приближении может быть определен, принимая допущения о постоянстве толщины заготовки в процессе вытяжки.

Тогда, следуя методике в [4], средняя фиктивная сила трения на рассматриваемом участке будет равна

$$F_{y.\phi} = F_{\phi} \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \arccos \left[\frac{k_v}{\sqrt{\left(\frac{R_0}{R_2}\right)^2 - 2 \frac{r_{\Pi}}{R_2} \cdot \frac{h}{R_2}}} \right] \right\}, \quad (2)$$

где $k_v = v / V_{гр}$ ($V_{гр} = \omega \xi_0$ - амплитуда колебательной скорости, ω - круговая частота колебаний); R_0 - радиус исходной плоской заготовки; r_{Π} - радиус пуансона плюс половина толщины заготовки; h - ход пуансона.

Степень снижения сил трения под действием ультразвуковых колебаний на участке плоского фланца будет равна

$$\eta_{\phi} = \frac{F_{\phi} - F_{y\phi}}{F_{\phi}}$$

или с учетом (2)

$$\eta_{\phi} = \frac{2}{\pi} \arccos \left[\frac{k_v}{\sqrt{\left(\frac{R_0}{R_2}\right)^2 - 2 \frac{r_{\Pi}}{R_2} \cdot \frac{h}{R_2}}} \right] \quad (3)$$

На рис. 3 приведены результаты расчетов η_{ϕ} для случая $R_0 = 75$ мм, $r_1 = 29,5$ мм, $s_0 = 1$ мм (s_0 — толщина исходной заготовки). Характер кривых показывает, что степень снижения сил трения на участке плоского фланца снижается по мере смещения контура заготовки к вытяжному ребру матрицы, при этом эффективность в значительной мере определяется амплитудой смещения ξ_0 .

Из выражения (1) видно, что поле скоростей при вытяжке неоднородно, причем на границе плоского фланца R_2 материал затекает на вытяжное ребро матрицы с максимальной скоростью для фланца, равной скорости деформирования. Из этого граничного кинематического условия можно определить величину предельной амплитуды смещений $\xi_{\phi}^{пр}$, которая обеспечивает снижение сил трения на протяжении деформации фланца

$$\xi_{\phi}^{пр} = \frac{V}{\omega} \theta.$$

На рис. 4 представлен график зависимости предельной амплитуды смещений от скорости деформирования.

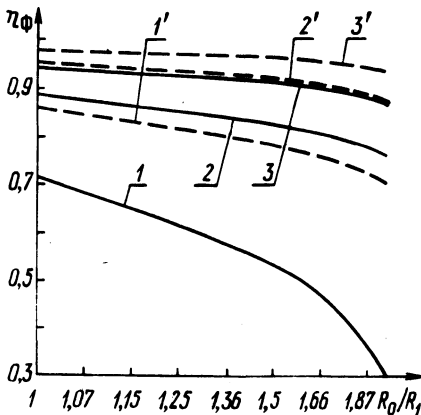


Рис. 3. Зависимость степени снижения сил трения от текущего радиуса контура заготовки; 1, 2, 3 — $V_0 = 200$ мм/с.; 1', 2', 3' — $V_0 = 100$ мм/м.; 1, 1' — $\xi_0 = 0,002$ мм, 2, 2' — $\xi_0 = 0,005$ мм, 3, 3' — $\xi_0 = 0,010$ мм; $f = 18$ кГц (f — частота колебаний).

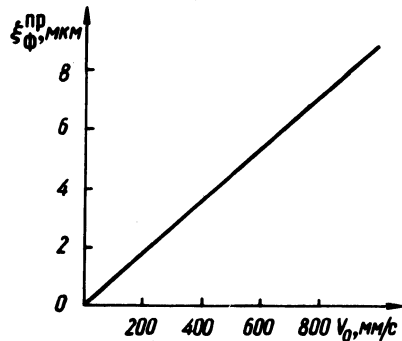


Рис. 4. Зависимость предельной амплитуды колебаний от скорости деформирования.

На тороидальном участке поверхность контакта определяется углом охвата заготовки вытяжного ребра матрицы. В процессе вытяжки в обычных условиях направление действия силы трения на рассматриваемом участке определяется направлением

вектора скорости скольжения. При вытяжке с наложением радиальных УЗК на матрицу каждая точка, лежащая на поверхности контакта, участвует одновременно в поступательном движении со скоростью скольжения V_{cr} и колебательном со скоростью $V_{кр}$ (рис. 5). Следовательно, результирующая скорость движения U_r в рассматриваемый момент времени определяется величиной и направлением колебательной скорости и скорости скольжения. Причем по мере увеличения угла охвата направление введения УЗК в зону контакта относительно вектора силы трения изменяется,

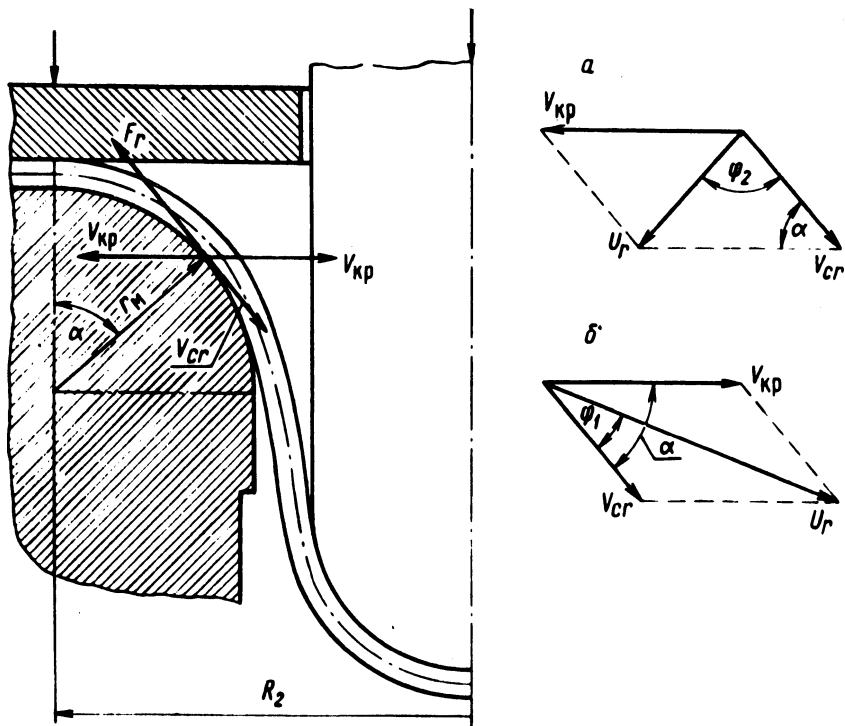


Рис. 5. Определение результирующей скорости точки на контактной поверхности в момент времени от 0 до $T/2$ (Б) и от $T/2$ до T (а).

Используя методику, предложенную в [6], можно оценить степень влияния УЗК на силы трения на вытяжном ребре матрицы.

Допустим, в процессе вытяжки в обычных условиях при угле охвата α сила трения равна F_r . Из рис. 5 видно, что при наложении УЗК на матрицу угол между векторами \bar{V}_{cr} и \bar{U}_r будет изменяться от значения φ_1 до φ_2 за период колебаний.

Величина проекции импульса силы трения на направление скольжения равна T

$$I = F_r \int_0^T \cos \varphi_i dt$$

или, выражая импульс силы трения через среднюю фиктивную силу

$$I = F_{yr} T,$$

тогда

$$F_{yr} = \frac{F_r}{T} \int_0^T \cos \varphi_i dt.$$

После подстановки значений углов φ_1 и φ_2 , выражение для средней фиктивной силы трения за период колебаний после преобразований примет вид

$$F_{yr} = F_r \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\pi/2} \frac{\delta + \cos \alpha \cos \psi}{\sqrt{(\delta + \cos \alpha \cos \psi)^2 + \sin^2 \alpha \cos^2 \psi}} d\psi + \int_0^{\pi/2} \frac{\delta - \cos \alpha \cos \psi}{\sqrt{(\delta - \cos \alpha \cos \psi)^2 + \sin^2 \alpha \cos^2 \psi}} d\psi \right],$$

где $\delta = V_{cr} / V_{тр} = \frac{r}{1 - \frac{M}{R_2} \sin \alpha}$ (r_m - радиус вы-

тяжного ребра матрицы); ψ - фазовый угол.

Степень снижения сил трения на тороидальном участке будет равна

$$\eta_r = \frac{F_r - F_{yr}}{F_r}.$$

Расчетные данные, представленные на рис. 6, показывают характер изменения степени снижения сил трения на вытяжном ребре матрицы в зависимости от угла охвата.

Из сравнения кривых, показанных на рис. 3 и на рис. 6, видно, что степень снижения сил трения при одинаковых условиях больше на участке плоского фланца. Следовательно, значительного снижения сил трения можно ожидать, когда направ-

ление вектора колебательной скорости совпадает с направлением действия сил трения или близко к нему. Это положение подтверждается экспериментальными данными, приведенными в [3].

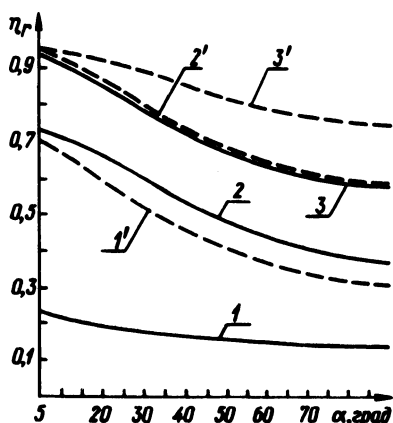


Рис. 6. Зависимость степени снижения сил трения на вытяжном ребре матрицы от угла охвата; 1, 2, 3 — $V_0 = 200$ мм/с.; 1', 2', 3' — $V_0 = 100$ мм/с.; 1, 1' — $\xi_0 = 0,005$ мм, 2, 2' — $\xi_0 = 0,005$ мм, 3, 3' — $\xi_0 = 0,010$.

Таким образом, теоретический анализ влияния УЗК на контактное трение показывает, что наложение радиальных ультразвуковых колебаний на матрицу позволяет значительно снизить "вредные" силы трения, возникающие между матрицей и заготовкой в процессе вытяжки, и тем самым интенсифицировать процесс. Степень снижения сил трения определяется скоростным режимом вытяжки, направлением введения УЗК в зону контакта и амплитудно-частотными характеристиками колебательного движения. Проведенные расчеты показывают, что при оптимальных скоростных режимах вытяжки степень снижения сил трения может достигать от 30 до 95% при изменении амплитуды колебаний от 0,002 до 0,010 мм.

Л и т е р а т у р а

- Северденко В.П., Пашенко В.С., Кособуцкий Б.С. Листовая штамповка с ультразвуком. Минск, 1975.
- Werkleu I.I. Vibration - assisted forming - the commercial Breakthrough at last? - "Machinery and Production Engineering", 1975, 127, N3276.
- Möllers I., Fisher F. Reibungskraft Kann um 90% vermindert werden. Über der Einflub von - "Ultraschale - Rohre", 1975, 16, N11.
- Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвук и пластичность. Минск, 1976.
- Алексеев Ю.Н. Вопросы пластичного течения металлов.

Харьков, 1958. 6. Северденко В.П., Резников Ю.Н. Влияние ультразвуковых колебаний различной направленности на процесс влочения металлов. – В кн.: Пластичность и обработка металлов давлением. Минск, 1966.

УДК 621.785.019

Ф.Г. Ловшенко, канд. техн. наук,
В.Г. Высоцкий

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ СТАЛЕЙ

Целью данной работы явилось исследование влияния отпуска на механические свойства сталей, полученных методом порошковой металлургии с последующей цементацией и закалкой.

Исследование проведено на железе и сплаве системы "железо-молибден-сера", полученными путем прессования порошков ПЖ2М2 и дисульфида молибдена. Содержание молибдена в сплаве составляло 0,7%, серы – 0,46%. Плотность материалов равнялась 80 и 90%. Цементация проводилась при 1000°С в течение 6 ч в бондюжском карбюризаторе при соотношении свежего и отработанного – 1:3, причем спекание совмещалось с науглераживанием. Температура нагрева под закалку составляла 800°С; в качестве охлаждающей среды для железа являлась вода, для сплава – масло. Влияние температуры отпуска на механические свойства представлено в табл. 1. Продолжительность отпуска 2 ч.

Характерной особенностью термической обработки пористых сталей является то, что непосредственно после закалки они имеют прочность значительно ниже исходной, полученной после цементации. С увеличением отпуска прочность резко повышается, достигая своего максимума при 300°С. При этом по сравнению с исходной она увеличивается примерно в 2,0 раза, а с прочностью после закалки – в 3,0 раза.

Существование максимума прочности при 300°С можно объяснить действием по меньшей мере двух причин. С одной стороны, фазовые превращения, протекающие при отпуске, должны приводить к снижению прочности, которое становится особенно заметным выше 250–300°С. С другой стороны, снятие термических напряжений, а также напряжений, вызванных фазовым превращением аустенита в мартенсит, приводит к некото-