

В.С.Пашенко, канд. техн. наук,
В.И.Любимов, канд.техн.наук (БПИ)

АНАЛИЗ МЕХАНИКИ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВЫРУБКЕ С ПРОДОЛЬНЫМИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПУАНСОНА

При разделении листовых металлов малой толщины ($s < 0,5$ мм) и фольги основным показателем, определяющим качество деталей и их пригодность для дальнейшего технологического или эксплуатационного использования, является высота заусенца. В работах [1, 2] показано, что высота заусенца снижается с уменьшением пластичности материала. Идеальным в этой связи представляется такой процесс, при котором разделение осуществляется без заметной пластической деформации, т. е. происходит в результате хрупкого разрушения. Полностью избежать пластической деформации, предшествующей разрушению при срезе, в большинстве случаев не удастся, даже прибегая к специальным приемам, позволяющим снизить пластичность материалов, таким, как упрочнение термической обработкой или наклепом, повышение скорости и понижение температуры деформации.

Разрушение, подобное хрупкому, т. е. без заметных остаточных деформаций, происходит в определенных условиях при циклическом нагружении материала. Усталостное разрушение по контуру среза при вырубке может быть достигнуто при многократном нагружении заготовки пуансоном.

Предпосылкой применения ультразвукового диапазона частот нагружения является возможность сокращения длительности процесса, а также осуществления ударного воздействия на заготовку. Как известно [3, 4], при ударно-циклическом характере нагружения долговечность образцов существенно снижается по сравнению с плавно изменяющейся циклической нагрузкой.

Рассмотрим механизм вибрационной вырубке с тем, чтобы установить основные факторы, определяющие протекание процесса, и пределы эффективного ее использования.

При обычной вырубке скорость деформирования равна скорости закрытия штампа $V_{\text{ш}}$. При вырубке с продольными колебаниями пуансона скорость перемещения торца пуансона равна сумме двух векторов скорости: постоянного вектора скорости закрытия штампа $\bar{V}_{\text{ш}}$ и переменного вектора колебательной скорости торца пуансона $\bar{V}_{\text{к}}$. В этом случае перемещение торца пуансона описывается уравнением:

$$l_{\Pi} = V_{\text{ш}} \cdot t + A \sin \omega t, \quad (1)$$

где t – время; A – амплитуда колебательного смещения торца пуансона; ω – круговая частота.

Изменение кинематики движения пуансона в результате наложения ультразвуковых колебаний приводит к тому, что процесс разделения происходит с разрывом контакта между пуансоном и заготовкой в каждый период колебаний, т. е. дискретно. При этом движение торца пуансона, обусловленное колебательной скоростью, является главным движением, а движение, обусловленное скоростью закрытия штампа, является движением подачи.

Взаимодействие колеблющегося пуансона с заготовкой происходит при больших скоростях и имеет динамический характер. Усилие деформирования периодически изменяется от максимума в момент взаимодействия пуансона с заготовкой до нуля при разрыве контакта между ними, т. е. изменяется по пульсирующему циклу.

В начальный момент после приложения ударного импульса все точки горизонтально расположенной заготовки, находящейся над матрицей, получают одинаковую вертикальную скорость. Однако перемещению краев заготовки препятствует матрица. Поэтому независимо от того, как деформируется заготовка (упруго или пластически), контакт пуансона с заготовкой будет иметь место до того мгновения, когда колебательное смещение торца пуансона достигнет амплитудного значения и вектор колебательной скорости \vec{V}_k не изменит свое направление на противоположное.

Механизм вибрационного деформирования зависит от упругих и пластических характеристик материала. Вначале рассмотрим случай вибрационной вырубки заготовки из материала, не обладающего упругостью и упрочнением (жестко-пластическое тело). Считаем, что колебательное смещение торца пуансона происходит по гармоническому закону, а амплитуда смещения постоянна и не зависит от сопротивления деформированию. Так как скорость образца вдоль режущей кромки матрицы изменяется скачком, то в этом сечении локализуется сдвиговая деформация. Таким образом в течение каждого периода колебаний происходит дробная пластическая деформация (сдвиг), по величине равная подаче пуансона на одно колебание

$$\epsilon_{\Pi} = \Delta s = \frac{V_{\text{ш}}}{f}, \quad (2)$$

где f – частота колебаний.

На рис. 1, а приведена схема, поясняющая описанный механизм деформирования. Заштрихованные зоны соответствуют об-

ласти пластической деформации (начало в точке *a*, окончание в точке *b*). В точке *b* происходит разрыв контакта между пуансоном и образцом. Следующий элементарный акт пластической деформации начинается в точке *c* и завершается в точке *d* и т.д.

Хотя описанный механизм деформирования является идеализированным, тем не менее подобный характер деформации мо-

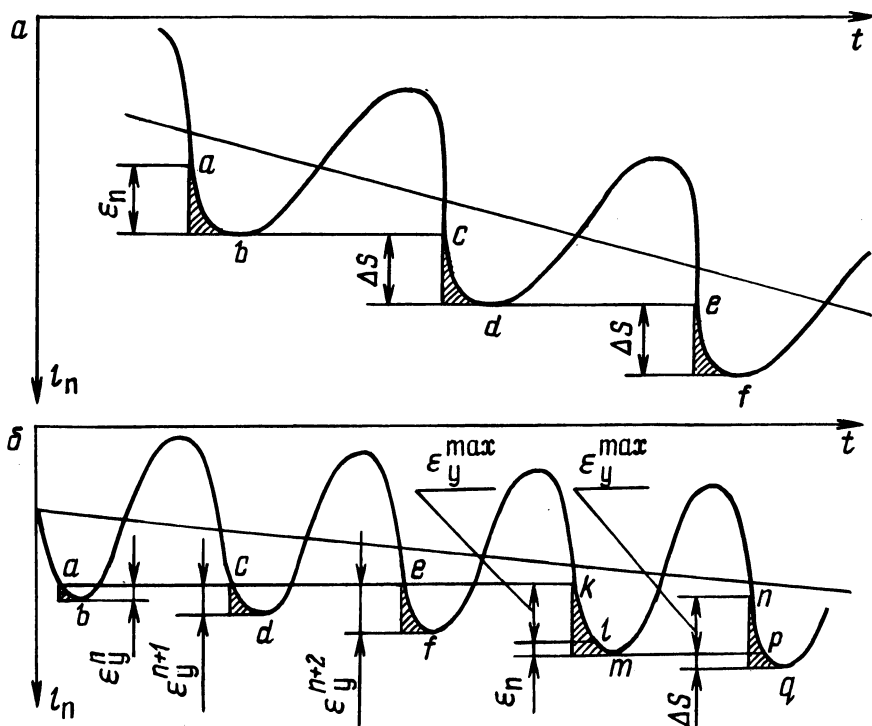


Рис. 1. Схема вибрационного деформирования жестко-пластического (а) и упруго-пластического (б) образцов.

жет иметь место при вырубке пластичных малоупрочняющихся металлов, имеющих низкий предел текучести, когда упругие деформации незначительны (свинец, отожженные медь и никель и т. п.). Разрушение образца в зоне разделения в этом случае может наступить после исчерпания ресурса пластичности материала.

Модель жестко-пластического тела не позволяет полностью описать процесс вибрационного деформирования, так как не учитывает упругие свойства реальных металлов, которые могут играть существенную роль в процессе деформирования.

Рассмотрим особенности вибрационного нагружения заготовки, обладающей достаточной упругостью. При отсутствии движе-

ния подачи колеблющегося пуансона ($V_{ш} = 0$) время контакта, величина упругой деформации и усилие деформирования при каждом цикле нагружения будут постоянны. В результате того, что пуансон контактирует с заготовкой по узкому кольцевому пояску, прилежащему к его кромке, заготовку можно рассматривать как пластинку, закрепленную по контуру матрицы прижимом и нагружаемую периодической динамической нагрузкой, распределенной равномерно по окружности, диаметр которой меньше диаметра заземления.

В результате динамического периодического нагружения в заготовке возникают вынужденные поперечные колебания с частотой возбуждающей силы. Периметр заземления представляет собой узел смещений, в котором действуют максимальные циклические сдвигающие напряжения, и поэтому является наиболее слабым сечением в отношении усталостной прочности. При вибрационном нагружении достаточно тонких материалов после некоторого числа циклов нагружения в упругой области произойдет усталостное разрушение заготовки по контуру матрицы.

Число циклов нагружения, необходимое для осуществления усталостного разрушения, зависит от величины ударно-циклических напряжений. Если нагружение образца осуществлять таким образом, чтобы величина напряжений возрастала с каждым последующим циклом, то очевидно, что усталостное разрушение произойдет после меньшего числа циклов нагружения. Такой режим нагружения можно обеспечить, если осуществлять подачу вибрирующего пуансона. В этом случае упругая деформация образца с каждым последующим циклом нагружения возрастает по сравнению с предыдущим циклом на величину подачи Δs :

$$\epsilon_y^n = \epsilon_y^{n-1} + \Delta s = n\Delta s = nV_{ш} \cdot T, \quad (3)$$

где n - число циклов нагружения.

При скорости подачи $V_{ш}$, меньшей некоторой критической скорости $V_{кр}$, разрушение образца произойдет в упругой области. При скорости $V_{ш} > V_{кр}$ после некоторого числа циклов нагружения в пределах упругости образец начнет деформироваться пластически. На рис. 1, б приведена схема вибрационного деформирования упругопластического образца. Первые три цикла условно соответствуют стадии упругой деформации ϵ_y . В последующие циклы нагружения, кроме упругой деформации, происходит и пластическая деформация $\epsilon_{п}$, которая начинается в точке 1 и заканчивается в точке m . После достижения величины пластической деформации, равной подаче пуансона Δs , процесс вибрационного деформирования стабилизируется, и в дальнейшем вели-

чины упругой и пластической деформаций в каждый период нагружения остаются постоянными.

Для повышения производительности вибрационную вырубку следует проводить с максимально возможной скоростью подачи колеблющегося пуансона, при которой бы исключалась пластическая деформация металла в зоне разделения.

Л и т е р а т у р а

1. Любимов В.И. Механизм образования заусенцев при резке, вырезке и пробивке тонких листовых металлов. – В сб.: Металлургия. Минск: БПИ, 1977, вып. 10, с. 81–85.
2. Пашенко В.С., Любимов В.И. О влиянии механических свойств материала на величину заусенца, образующегося при разделении тонколистовых металлов и фольги. – В сб.: Металлургия. Минск: Вышэйшая школа, 1978, вып. 12, с. 132–134.
3. Погодин-Алексеев Г.И. Динамическая прочность и хрупкость металлов. – М.: Машиностроение, 1966. – 244 с.
4. Топоров Г.В., Яговкин В.М. Влияние структуры высокопрочных чугунов на сопротивление разрушению при циклических и ударно-циклических нагрузках. – В сб.: Усталость металлов при ударных циклических нагрузках и исследование машин ударного действия. Томск, 1969, т. XV, с. 54–74.

УДК 621.983

В.С.Пашенко, канд. техн. наук,
Ю.В.Скачко, канд. техн. наук (БПИ),
Н.П.Запорожец, инженер
(ХАЗ им. Ленинского комсомола)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ ЛИСТОВЫХ ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕТАЛЛОВ С УЛЬТРАЗВУКОМ*

В лабораторных условиях исследовали возможность отбортовки отверстий в листовых образцах толщиной $s = 0,6$ мм из магниевого сплава МА2–1М. Отбортовка проводилась в матрицу $\phi 16$ мм. Пуансон имел цилиндрическую форму. Радиус скругления пуансона составлял $4s_0$, а матрицы $3s_0$. Технологический зазор был равен $1,2s_0$. Отверстия под отбортовку получали точением. Для исследования использовали установку, включающую:

* В работе принимали участие инженеры В.С.Халтурин и С.А.Эрбейгель.