

$$d\rho_{\text{Л}} = - \frac{c^2 d h_{\text{Л}}}{2h_{\text{Л}}^2}, \quad (6)$$

а изменение напряжения, – дифференцируя (3) :

$$d\rho_{\text{Л}} = km \sigma^{n-1} d\sigma. \quad (7)$$

Решив совместно (5), (6) и (7), получим

$$dh_{\text{Л}} = dh_0 / \left(1 + \frac{c^2 \sigma^{1-m} BR a \rho}{4 km h_{\text{Л}}^2 l} \right). \quad (8)$$

Поскольку в правой части знаменателя отрицательных значений нет, то знаменатель всегда больше единицы, а значит, $dh_{\text{Л}} < dh_0$. Следовательно, изменение толщины ленты всегда меньше биения валков, а уменьшение жесткости рабочей клетки приводит к уменьшению влияния погрешности формы валков на точность порошкового проката по толщине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокатка металлических порошков/Г.В. Виноградов, Ю.Н. Семенов, О.А. Катрус, В.П. Каташинский. – М.: Металлургия, 1969. – 284 с. 2. Ложечников Е.Б., Клименков С.С. Качество лент, полученных прокаткой порошков. – В сб.: Металлургия. Минск: Выш. шк., 1977, вып. 10, с. 71–76. 3. Аксенов Г.И. Основном уравнении прокатки. – В кн.: Порошковая металлургия. Тр. ЛПИ, № 396, М.: Металлургия, 1969, с. 35–36. 4. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969, с. 24–262.

УДК 621.983

В.А. ВАРВИН, канд.техн.наук,
С.А. ВЕРКЕЕВ, В.И. ЛЮБИМОВ, канд.техн.наук (БПИ)

КОМБИНИРОВАННАЯ ВЫТЯЖКА ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА МАТРИЦУ

Экспериментальные и теоретические работы, проведенные по комбинированной вытяжке [1], показывают, что существуют реальные предпосылки расширения технологических возможностей этого процесса. Значительный резерв интенсификации процесса открывает оптимизация контактных условий трения между заготовкой и инструментом, которая способствует уменьшению нагрузки опасного сечения. Значимость оптимизации этого фактора следует хотя бы из того, что в результате действия сил трения напряжения в опасном сечении заготовки могут превышать напряжения полезного объемно-пластического деформирования на 30–40%. Одним из эффективных путей снижения сил контактного трения является использование ультразвуковых колебаний [2].

Экспериментальную проверку эффективности применения радиальных ультразвуковых колебаний в процессе комбинированной вытяжки проводили с

помощью специального штампа, установленного на гидравлической испытательной машине ЦДМПу-10. Акустическая система радиально-продольных колебаний состояла из волновода и трех магнитострикционных преобразователей типа ПМС-15А-18, симметрично расположенных на боковой поверхности дисковой части волновода. Радиальная матрица с диаметром рабочего окна 33 мм и вытяжным радиусом 7 мм запрессовывалась в центре дисковой части волновода. Вытяжной зазор изменялся с помощью комплекта пуансонов с различными диаметрами. Регистрацию силовых параметров процесса осуществляли с использованием мессдозы сжатия. Испытанию подвергались заготовки из тонколистовой стали 08 кп толщиной $S_0 = 0,78$ мм. В качестве смазки применяли "Укринол 5/5".

Выбранные геометрические параметры матрицы соответствуют наиболее неблагоприятным условиям осуществления процесса комбинированной вытяжки, так как при этом имеет место наложение первой стадии формоизменения на вторую. Как показывает практика, разрушение при этом происходит именно на этапе перехода первой стадии во вторую, т.е. смена стадий соответствует критическому моменту деформации.

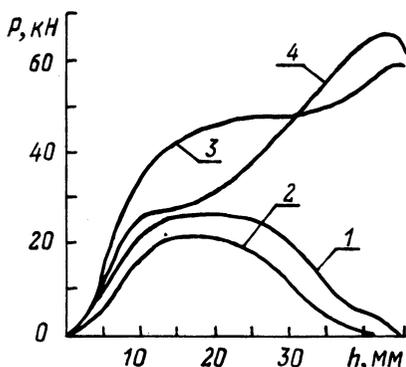


Рис. 1. Силовые диаграммы процессов вытяжки без утонения (1,2 — $Z_s = 1,4$) и комбинированной вытяжки (3,4 — $Z_s = 0,77$):

1,3 — в обычных условиях; 2,4 — с наложением радиальных колебаний на матрицу ($\xi_0 = 13$ мкм).

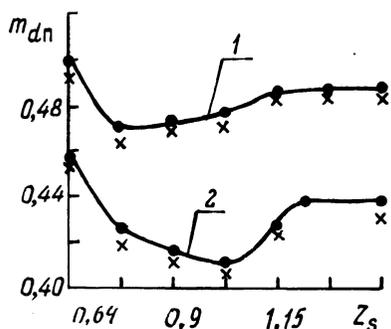


Рис. 2. Зависимость предельного коэффициента вытяжки от величины относительного зазора:

1 — в обычных условиях; 2 — с наложением радиальных колебаний на матрицу ($\xi_0 = 13$ мкм); x — обрыв.

На рис. 1 представлены силовые диаграммы процессов вытяжки без утонения и комбинированной вытяжки. В обоих случаях наложение радиальных ультразвуковых колебаний на матрицу обеспечивает снижение технологического усилия в критический момент деформации. Однако в условиях обычной вытяжки ($Z_s = 1,4$) максимальное усилие снизилось на 6,7 кН, а в условиях комбинированной вытяжки ($Z_s = 0,77$) в период завершения переходного этапа усилие снизилось на 9,3 кН. В первом случае снижение усилия характеризует уменьшение сопротивления деформированию фланцевой части заготовки, во втором — суммарный эффект воздействия ультразвуковых колебаний в зоне вытяжки и в зоне утонения. Отсюда видно, что основная доля (72%) сум-

марного эффекта от воздействия ультразвуковых колебаний приходится на зону фланца, в то время как на зону утонения приходится 28 %-ная доля суммарного эффекта.

В общем случае соотношение величин снижения сопротивления деформированию в зоне вытяжки и в зоне утонения зависит от соотношения коэффициентов деформации заготовки по периметру и толщине. Поскольку эффективность применения ультразвуковых колебаний оценивается при одинаковых относительных зазорах (рис. 2), можно считать, что изменение предельного коэффициента деформации по периметру заготовки (m_{dn}) отражает характер влияния радиальных колебаний на контактные условия трения в зоне утонения. Следуя результатам эксперимента, в диапазоне значений зазоров, соответствующих схеме полукombинированной вытяжки, радиальные колебания матрицы обеспечивают более интенсивный рост сил трения F_4 (рис. 3), так как степень снижения силы трения F_3 при неизменной амплитуде смещений остается постоянной. Однако было бы неверно объяснить эффект интенсивного роста силы трения F_4 одним лишь периодическим изменением диаметра рабочего окна матрицы. Как известно [3], наложение радиальных колебаний на матрицу сопровождается возникновением сдвиговых напряжений в зоне контакта фланцевой части заготовки с матрицей. Это приводит к снижению растягивающих и росту тангенциальных напряжений, т.е. к изменению схемы напряженного состояния. В результате околосредняя часть заготовки получает меньшее произвольное утонение, а утолщение периферийных участков фланца возрастает. Отсюда следует, что интенсивный рост силы трения между заготовкой и пуансоном обусловлен как изменением рабочего диаметра матрицы, так и перераспределением толщины заготовки в процессе деформации.

При уменьшении зазора в диапазоне $0,8 < Z_s < 1,0$ наряду с уменьшением интенсивности роста силы трения F_4 , вследствие демпфирования колебаний уменьшается и степень снижения силы трения F_3 . В результате предельное значение величины m_{dn} несколько увеличивается. Дальнейшее уменьшение зазора ($Z_s < 0,8$) приводит к тому, что условия деформации заготовки в зоне утонения с наложением радиальных колебаний на матрицу приближаются к условиям обычного процесса комбинированной вытяжки. Практически это выражается в резком увеличении предельного коэффициента вытяжки.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность оптимизации контактных условий трения в процессе ком-

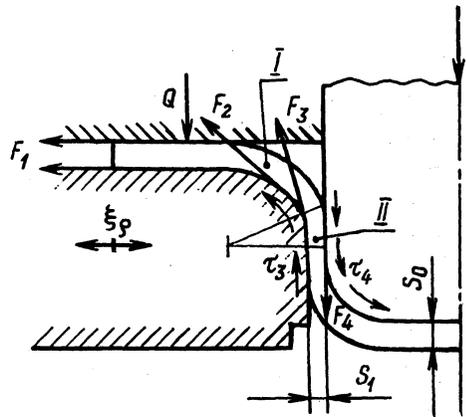


Рис. 3. Схема действия сил трения при комбинированной вытяжке: I — зона вытяжки (F_1 — силы трения, действующие в зоне плоского фланца, F_2 — сила трения на вытяжном ребре матрицы); II — зона утонения (F_3 — сила трения между заготовкой и матрицей; F_4 — сила трения между заготовкой и пуансоном).

бinationной вытяжки. В результате предельное значение величины m_{dn} несколько увеличивается. Дальнейшее уменьшение зазора ($Z_s < 0,8$) приводит к тому, что условия деформации заготовки в зоне утонения с наложением радиальных колебаний на матрицу приближаются к условиям обычного процесса комбинированной вытяжки. Практически это выражается в резком увеличении предельного коэффициента вытяжки.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность оптимизации контактных условий трения в процессе ком-

бинированной вытяжки на основе применения радиальных ультразвуковых колебаний. Максимальный эффект от применения радиальных колебаний может иметь место, когда утонение играет подчиненную роль и задача заключается в обеспечении оптимальных условий для наибольшей деформации по периметру заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а л и е в С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. – М.: Машиностроение, 1973. - 176 с. 2. С е в е р д е н к о В.П., К л у б о в и ч В.В., С т е п а н е н к о А.В. Обработка металлов давлением с ультразвуком. – Минск: Наука и техника, 1973. – 288 с. 3. П а щ е н к о В.С., В а р а в и н В.А. Вытяжка с наложением радиальных ультразвуковых колебаний на матрицу. – Минск: БПИ, 1979, с. 19. Рукопись деп. в БелНИИНТИ 27.08.79, № 57–79 Деп.

УДК 621.762.4.001

Л.А. ИСАЕВИЧ, канд.техн.наук,
Е.К. ПЕТРУЛИН, С.В. ЖИЛКИН (БПИ)

ФОРМОВАНИЕ КОЛЬЦЕОБРАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ Cu–Al–Zn

Существуют различные способы получения кольцеобразных элементов из порошков, которые можно разделить на два вида: прерывистое и непрерывное формование. К ним относятся: прессование в закрытых пресс-формах, изостатическое прессование, шликерное формование, экструзия, прокатка в валках и др. [1].

Формование кольцеобразных элементов в валках отличается простотой осуществления и высокой производительностью. В разработанном устройстве формование кольцеобразных элементов осуществляется двумя валками с формообразующими ячейками, выполненными по всей длине бочек, и двумя замкнутыми контурами, которые состоят из связанных между собой шарнирно жестких металлических звеньев плоской формы. Контурные совершают круговое движение в плоскости, параллельной плоскости вращения валков, и плотно прилегают к торцам бочек валков. В звеньях одного контура вставлены штыри, имеющие привод возвратно-поступательного движения и обеспечивающие формование отверстия в изделии. В звеньях другого выполнены отверстия, соосные с соответствующими штырями. Порошок увлекается в очаг деформации движущимися контурами и вращающимися валками, где происходит формование втулок.

С целью экспериментальной проверки предложенной технологической схемы формования, установления оптимальных геометрических размеров формообразующих элементов и кинематических характеристик уплотнения шихты, а также определения энергетических параметров процесса была создана установка моделирования (рис. 1, 2).

Она содержит два рабочих 1, 2 и два приводных сектора, один из которых 3 показан на рис. 2. Последние обеспечивают синхронность вращения рабочим