

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИБРООБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Драгобецкий В.В., Коноваленко А.Д., Кондратюк С.А. *(Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Полтавской обл., Украина)*

The basis parameters of vibrating process forces and stresses has been reduced. Development of vibration exciters of vibrations, which does not use energy are presented.

Одним из эффективных путей интенсификации процессов металлообработки является использование вибраций. Прерывистый характер деформирования при вибрации инструмента или обрабатываемой заготовки приводит к уменьшению сил контактного трения, снижению сопротивления деформации, эффективного значения деформирующей силы и работы деформации. Это создает предпосылки для совершенствования, повышения экономичности и расширения технологических возможностей процессов обработки давлением и резания. Ключевым вопросом в деле освоения вибропроцессов металлообработки является создание адаптированных к этим процессам виброприводов или модернизация уже существующих. Значительно облегчить внедрение эффективных процессов виброобработки в производство возможно при минимальных затратах на техническое перевооружение существующей техники. Решение такой задачи возможно путем использования принципов конструирования, таких как принцип объединения, самообслуживания и универсальности [1].

При определенных схемах и режимах вибрационного деформирования (в частности, при виброволочении) наблюдается эффект периодического изменения диаметра прутка или проволоки по его оси. С одной стороны это можно расценивать как отрицательный фактор, приводящий к искажению геометрии получаемого изделия. С другой стороны – это открывает возможности для получения прутков и проволоки периодически повторяющегося сечения. В любом случае при отрицательной или положительной оценке этого фактора этим процессом необходимо управлять и знать его закономерности. Вероятно это явление можно объяснить из анализа следующих явлений.

1. Фрикционные автоколебания. В условиях трения твердых тел при постоянной или периодической силе тяги наблюдается неплавность скольжения сопровождающаяся более или менее периодическими остановками. Возможные объяснения неустойчивости скольжения связаны с наличием падающей скоростной характеристики силы трения или появлением так называемого скачка ΔT силы трения при переходе от покоя к скольжению. В процессе каждого скачка происходит нарастание амплитуды нормально направленных асимметричных колебаний, приводящих к сжатию деформируемого материала. Проявлением этого вида колебаний в условиях виброволочения является нарушение закона движения вибрирующего инструмента и, как следствие, периодичность не только микрогеометрии, но и геометрии обрабатываемых заготовок. Оценить характер этого явления возможно при решении задачи упруго-пластического деформирования при виброволочении с заданием соответствующих граничных условий, связанных с законом трения, учитывающим фрикционные автоколебания.

2. Потеря устойчивости деформируемой системы. Характер потери устойчивости происходит по схеме отличной от эйлеровской. Связь между деформирующей нагрузкой P и характерным перемещением U выражается кривой вогнутой вниз. Такая зависимость $P - U$ наблюдается в условиях растяжения. Восходящий участок кривой соответствует устойчивым формам равновесия. В точке максимума нагрузка принимает стационарное значение, оставаясь постоянной при бесконечно малых изменениях U , соответствующих смежным формам равновесия. Состояние системы в точке максимума является критическим, а соответствующие значения $P = P_{кр}$ и $U = U_{кр}$ – критическими нагрузкой и перемещением. Критическая нагрузка $P_{кр}$ совпадает с максимальной, несущей нагрузкой системы P_{max} . При такой нагрузке возможна локальная потеря устойчивости в виде местного утонения. Задача об устойчивости при упруго-пластическом деформировании решается путем исследования движения системы вблизи состояния равновесия. Неустойчивым является такое состояние, при котором малые возмущения вызывают движение, выводящее систему из окрестности равновесного состояния. Оценить критическую деформацию, при которой процесс пластического растяжения прутка, стержня или проволоки становится неустойчивым, возможно следующим образом.

Рассмотрим стержень, растягиваемый силой $P(t) = P_0 \sin(\omega t - A)$. В свою очередь $P(t) = \sigma F$, где σ – нормальное напряжение в поперечном сечении прутка, F – площадь поперечного сечения.

Из условия несжимаемости имеем:

$$\frac{d\ell}{\ell} + \frac{dF}{F} = 0 \quad \text{или} \quad d\varepsilon = -\frac{dF}{F}.$$

При выполнении условия $dP = \sigma_{11}dF + Fd\sigma_{11} > 0$, при $P(t) = P_{max}$; $\omega t - A = \frac{\pi}{2} + 2\pi k$;

$$dP = \sigma_{11}dF + Fd\sigma_{11} = 0. \quad (1)$$

Для деформируемого прутка возможны различные близкие состояния, для которых уменьшение сечения компенсируется ростом напряжений вследствие упрочнения. Однако материал деформируемой системы (прутка) имеет некоторые нарушения, так называемые «слабые места», как геометрического, так и структурного характера. Вследствие локальных отклонений от правильности формы и от условий неоднородности в одном из мест образуется и быстро развивается «шейка». Преобразовав уравнение (1), получаем условие неустойчивого деформирования:

$$\frac{d\sigma_{11}}{d\varepsilon} = \frac{\sigma_{11}}{(1 + \varepsilon)}. \quad (2)$$

Для материала упрочняющегося по степенному закону, реологические свойства которого описываются зависимостью $\sigma = c\varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m$, где $\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{d(\ln \ell)}{dt}$ – скорость деформации удлинения прутка. При $m = 0$, материал не обладает вязкими свойствами имеем, что $\varepsilon_{кр} = \frac{n}{1-n}$, где $\varepsilon_{кр}$ – критическая деформация.

1. Влияние инерционных сил.

При виброволочении с достаточно высокой скоростью существенную роль начинают играть инерционные силы, возникновение и распространение волн в металле, локализация области пластической деформации и т.д. Последний фактор может привести к дестабилизации поперечных размеров получаемого изделия. Уравнения несжимаемости и движения имеют вид:

$$\operatorname{div} \bar{v} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{T(v_i)}{H(v_i)} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right) + \delta_{ik} \sigma_0 \right] + \rho F_i = \rho \frac{dv_i}{dt}. \quad (4)$$

Вполне допустимо рассматривать процесс волочения в одномерной постановке, когда уравнения движения приобретают наиболее простой вид:

$$\rho \left(\frac{\partial v_1}{\partial t} + v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right) = \frac{\partial \sigma_0}{\partial x_1} + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{T(v_1)}{H(v_1)} \frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right). \quad (5)$$

Для идеально пластического материала при отсутствии конвекции это уравнение запишется следующим образом:

$$\rho \frac{\partial v_1}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1}, \quad (6)$$

учитывая, что деформации малы, т.е. $\frac{\partial U}{\partial x_1} \ll 1$, то $\frac{\partial v_1}{\partial t} = \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$. Так как:

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial x_1} = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \varepsilon_1} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial x_1} = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \varepsilon_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial U}{\partial x_1} \right) = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \varepsilon_1} \frac{\partial^2 U}{\partial x_1^2}, \quad (7)$$

то получаем волновое уравнение:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{1}{\rho^2} \frac{d\sigma_{11}}{d\varepsilon_1} \frac{\partial^2 U}{\partial x_1^2}, \quad (8)$$

где ρ - плотность материала деформируемой системы.

В уравнении (8) $\frac{d\sigma_{11}}{d\varepsilon_1} = \text{var}$, что требует специальных методов его решения и

анализа полученных результатов. Рассмотрим вариант решения при допущении о справедливости гипотезы «плоских диаметральных сечений», укладываемая в рамки достаточной для инженерных методов расчета. Элементарная энергия, необходимая для изменения скорости некоторой бесконечно малой массы материала dm в очаге деформации, равна импульсу приложенному к данной массе силы:

$$d\Phi \cdot dt = d\dot{U} \cdot dm. \quad (9)$$

Учитывая преимущественно осевое течение деформируемого материала, заменим дифференциалы скорости, времени и массы их значениями:

$$dm = \rho F d\ell, \quad (10)$$

$$d\dot{U} = V_0 \frac{d\ell}{\ell}, \quad (11)$$

$$dt = \frac{d\ell}{V_0}, \quad (12)$$

где V_0 – скорость волочения.

После преобразований получим:

$$d\Phi = \rho V_0^2 F \frac{d\ell}{\ell}. \quad (13)$$

Уравнение (1) принимает вид:

$$d(P \pm \Phi) = \sigma_{11} dF + F d\sigma_{11} = 0, \quad (14)$$

при этом

$$d\sigma_{11} = \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \varepsilon_{11}} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \dot{\varepsilon}_{11}} d\dot{\varepsilon}_{11} + \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial t} dt. \quad (15)$$

Искомое условие приобретает вид:

$$\frac{1}{\sigma_{11}} \left(\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \dot{\varepsilon}} d\dot{\varepsilon} + \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial t} dt \right) = \frac{d\varepsilon}{1 + \varepsilon}. \quad (16)$$

При принятом законе деформационно-скоростного упрочнения получаем:

$$n\varepsilon^{n-1}\varepsilon^m d\varepsilon + m\varepsilon^n \varepsilon^{m-1} d\dot{\varepsilon} + \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m) dt = \frac{\varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m d\varepsilon}{1 + \varepsilon}. \quad (17)$$

Для материала с малым скоростным упрочнением $m \approx 0$ приходим к дифференциальному уравнению следующего вида:

$$nd\varepsilon + n d\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon d\varepsilon}{1 + \varepsilon}. \quad (18)$$

Утонение на образце появляется при следующем соотношении деформации и ее скорости:

$$\dot{\varepsilon}(t) = \dot{\varepsilon}(0) [\varepsilon(n-1) - \ln(1 + \varepsilon)]. \quad (19)$$

По аналогии для вязких материалов с малым деформационным упрочнением $n=0$ получаем:

$$\dot{\varepsilon}(t) = \dot{\varepsilon}(0) (1 + \varepsilon)^{\frac{1}{2m}}. \quad (20)$$

Таким образом при полученных соотношениях кинематических параметров волочения, обеспечиваются условия устойчивого формообразования.

Вопросы использования вибрации при обработке металлов давлением на ультразвуковых и звуковых частотах освещены в работах [1,2]. В работе [2] рассмотрены основные факторы вибропроцесса, снижающие рабочие напряжения и силы при обработке металлов давлением с применением низкочастотных механических колебаний. В перечисленных работах практически не затронуты вопросы возбуждения колебаний в обрабатываемой заготовке, непосредственно деформирующем инструменте или технологической оснастке при минимуме конструкционных доработок. Руководствуясь принципом универсальности, по которому один объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах, т.е. таких, которые возбуждают колебания. Следовательно, в данном случае, вибровозбудителями являются объекты, участвующие в металлообработке.

Раскрыть возможности кузнечно-штамповочного оборудования и технологического оснащения процессов обработки давлением для возбуждения механических колебаний в обрабатываемой заготовке для интенсификации процессов формоизменения.

Наиболее благоприятные условия деформирования создаются в условиях вибрационной обработки. Получение механических колебаний звукового и ультразвукового диапазонов частот различной интенсивности осуществляется преобразователями и вибровозбудителями. В существующих конструкциях вибропрессовых установок используют, как правило, вмонтированные виброприводы и вибровозбудители. Это требует дополнительных затрат на модернизацию и реконструкцию оборудования.

Наиболее просто возбудить механические колебания в процессах пробивки и вырубки. В производстве широко используются различные конструкции пробивных пуансонов с керном (ДОСТ 16624-71). Выполнив на конической поверхности керна последовательно расположенные канавки [5], получаем вибровозбудитель

механических колебаний в обрабатываемой заготовке. Керн, проникая в заготовку, пробивает в ней отверстие, одновременно изгибая. По мере попадания материала заготовки в канавку керна происходит пружинение и возврат последней в исходное положение. В заготовке возникают механические колебания. Амплитуда и частота колебаний зависят от ширины канавок и скорости движения пуансона. По такому же принципу можно модернизировать ступенчатые пуансоны для чистовой вырубки [2] на боковой поверхности первой ступени пуансона, для черновой вырубки необходимо выполнить кольцевые канавки по аналогии с керном пробивного пуансона. В этом случае чистовая вырубка будет происходить в пульсирующем режиме. Возбуждение колебаний по такому же принципу возможно в операциях отбортовки. Для отбортовки используют цилиндрические и сферические (криволинейные) формы очертания рабочей поверхности пуансона. Вибровозбуждение на пуансоне с криволинейной рабочей поверхности можно организовать, выполнив на рабочей части пуансона кольцевые канавки с притупленными кромками. Цилиндрический пуансон необходимо снабдить керном либо второй ступенью с канавками.

Большие возможности для вибрационной обработки металлов давлением открывают процессы штамповки эластичными средами (полиуретан, резина).

В этом случае стенки контейнера с эластичной средой следует выполнить ребристыми. По мере сжатия эластичной среды ребра контейнера деформируют среду в радиальном направлении с чередующимися напряжениями сжатия и растяжения. В эластичной среде при этом возникают колебания, передающиеся на заготовку. Для улучшения условий штамповки эластичной средой и повышения надежности в штампах между дном контейнера и эластичной матрицей располагают слой стальных шариков. Выполнение в стенке контейнера канавок с криволинейным дном (волнистая поверхность) приводит в колебательное движение шарики в контейнере и эластичную среду с заготовкой.

Среди методов, реализующих виброобработку металлов давлением, следует отметить возможность использования гидравлической упругой волны в качестве энергоносителя. В кузнечно-прессовых машинах такого типа возможна реализация пульсационного характера деформирующего усилия, т.е. деформирование осуществляется без отрыва инструмента от изделия рядом последовательных нажатий, производимых с высокой частотой. В качестве источника периодических импульсов можно использовать непрерывно вращающийся импульсный клапан, попеременно соединяющий начало трубопровода с гидравлическим аккумулятором и со сливом через предохранительный клапан, открывающийся при давлении в трубопроводе, меньшем давления в аккумуляторе.

Ряд зубчато-рычажных главных исполнительных механизмов находят применение в прессах для пульсирующей вытяжки [5]. В отличие от модернизированных прессов с вибрационными возбудителями прессы [5] не имеют дополнительного привода. Пульсирующее воздействие на заготовку реализуется и в многоконтурных электрогидравлических установках [1] для вытяжки крупногабаритных тонколистовых заготовок.

Незначительная доработка винтовых фрикционных прессов позволяет также получить пульсирующее деформирующее усилие на заготовку. Для этого достаточно в соединении от маховика с ходовым винтом, ввинчиваемым в гайку и перемещающим ползун, оказывающий силовое воздействие на инструмент и заготовку, применить модернизированную шариковую передачу. Для этого между рабочими винтовыми поверхностями ходового винта и гайки поместить стальные шарики. Беговую дорожку активной (рабочая часть нарезки) необходимо выполнить из волнистого продольного

профиля. При вращении ходового винта шарики начинают перекатываться по нарезке и передают вибрирующее воздействие на ползун без дополнительных энергозатрат.

Для блоков разделительных штампов и прецизионных штампов находят широкое применение шариковые направляющие. Аналогичная конструкционная доработка нарезки позволяет реализовать пульсирующее нагружение на заготовку при упругом соединении ползуна прессы с хвостовиком штампа.

Виброподшипники с волнистой дорожкой могут найти применение для вибрационной обработки в способе уточнения трубчатых деталей качающейся матрицей, раскатных шариковых головках для раскатки тонколистовых деталей малого диаметра, при ротационном выдавливании, при различных видах давящих работ, в конструкциях ступенчатых пробивных и поворотных пуансонов с предварительным продавливающим выступом, в гибочных штампах с шарнирной матрицей.

Выводы.

1. В процессах обработки давлением существуют предпосылки для реализации виброобработки деталей без использования дополнительных приводов и энергозатрат путем незначительных конструкционных доработок деформирующего инструмента, штампов, конструкции прессов и использовании специально спроектированных главных исполнительных механизмов.

2. Эффект периодического изменения диаметра прутка или проволоки при виброволочении связан с фрикционными колебаниями; потерей устойчивости при деформировании как при возникновении напряжений текучести в материале прутка, так и при образовании «шейки», а также как результат действия сил инерции.

3. Полученные зависимости позволяют определить условия неустойчивого деформирования и стабилизировать процесс получения периодического профиля путем управления параметрами процесса виброволочения.

Список литературы: 1. Шаповал В.Н. и др. Вибрационные приводы в металлообработке. – К.: Техніка, 1983 – 120 с. 2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 3. Явтушенко А.В. и др. Планетарные механизмы в приводе кривошипных прессов // Совершенствование процессов и оборудование обработки металлов давлением в металлургии и машиностроении. Тем. Сб. научн. тр. – ДГМА, Краматорск, 2004. – С. 19-24. 4. Определение оптимального угла волокна при виброволочении/В.М.Клименко, Н.Н.Силуанов, В.Н.Шаповал, Г.В.Пригунок. – Изв. высш. уч. завед. Черная металлургия, 1972. - №5. – с.98-101. 5. Клименко В.М., Шаповал В.Н. Вибрационная обработка металлов давлением. – Киев: Техника, 1977, с.78, рис. 31

Надійшла до редколегії 11.03.2009 р.

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИБРООБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Драгобецкий В.В., Коноваленко А.Д., Кондратюк С.А.

У статті приділена увага питанням вібраційної деформації (зокрема, віброволочінню) при которм спостерігається ефект періодичної зміни діаметру прутка або дроту по його осі.

виброобработка, деформация, прутки, виброволочение