

УДК 621.778.06-868

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВИБРАЦИОННОГО ВОЛОЧЕНИЯ МЕТАЛЛА

*Шановал В.Н., д. т. н., проф., Проценко В.Н., магистр  
Кременчугский государственный политехнический университет  
имени Михаила Остроградского  
Полтавская обл., г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20  
E-mail: [Vldrag@polytech.poltava.ua](mailto:Vldrag@polytech.poltava.ua)*

Виконано теоретичне обґрунтування раціональної технологічної схеми вібраційного волочіння дроту з високоміцних сталей та тугоплавких металів за допомогою багатоступінчастого вібраційного пристрою, який відповідає технологічним особливостям обробки важкодеформувемих матеріалів.

**Ключові слова:** дріт, деформування, коливання, вібропроцес.

Theoretical basis of rational technological scheme vibration deformation wire drawing made of high-test steel and refractory metal with the help of multistage the vibratory which correspond to technological particulars of hardly deformed metals was made in the given paper.

**Key-words:** wire, deformation, oscillations, vibroprocess.

**Введение.** Традиционные способы волочения предусматривают определенное число пропусков металла через матрицы, при этом каждой матрице соответствует отдельный тянущий орган, снабженный приводом.

**Анализ предыдущих исследований.** Рядом исследователей [1-3] доказано, что применение механических колебаний волоки (или обрабатываемой проволоки) позволяет достичь существенного уменьшения рабочих усилий, а это создает определенные предпосылки для повышения обжатия металла за проход, снижения потребной мощности привода и, в отдельных случаях, – повышения скорости деформирования.

**Цель работы.** Расширение технологических возможностей волочильной установки путем варьирования количества вибрирующих со сдвигом по фазе волок при обеспечении поочередного нагружения волок и минимально возможной длине правочного конца металла.

**Материал и результаты исследования.** Задача интенсификации процесса волочения трудно деформируемых металлов может быть успешно решена применением многоступенчатого процесса вибрационного волочения, основанного на принципе поочередного нагружения нескольких волок, вибрирующих вдоль оси волочения со сдвигом по фазе.

Возможности многоступенчатых схем волочения в отношении снижения силы волочения и повышения вытяжки за проход зависят от числа  $z$  применяемых волок [2]. Условие осуществимости процесса имеет вид:

$$\sigma_i = P_i / S_z \leq \sigma_{сп}, \quad (1)$$

где  $P_i$  – сила волочения в  $i$ -й волоке;  $S_z$ ,  $\sigma_{сп}$  – соответственно площадь поперечного сечения и напряжение текучести материала полосы после выхода из ее последней ( $z$ -й) волоки.

Кроме условия (1), необходимо выполнение равенства секундных объемов металла, деформируемого волоками в течение периода колебания:

$$S_{i-1} \int_0^T v_i dt = S_i \int_0^T v_{i+1} dt, \quad (2)$$

где  $v_i$  и  $v_{i+1}$  – абсолютные скорости металла у входов в  $i$ -ю и  $i+1$  матрицы;  $S_{i-1}$  и  $S_i$  – поперечные сечения полосы у входов в  $i$ -ю и последующие матрицы.

Выражение (2) означает, что в процессе работы каждая матрица должна совершать периодические колебания вдоль оси волочения вокруг неподвижной точки, т.е. путь, проходимый матрицей за время холостого хода, должен быть равен пути, проходимому за время рабочего хода.

Прерывистый характер течения металла, обусловленный поочередным возвратно-поступательным движением волочильного инструмента приводит к тому, что закон сохранения постоянства секундного объема металла в обычной его записи справедлив для каждой отдельной матрицы, но не выполняется одновременно для всех матриц, участвующих в процессе. Тем не менее, чтобы исключить накопление металла или возникновение чрезмерных растягивающих напряжений в проволоке между матрицами, необходимо согласовывать скорости движения инструмента и тягового органа таким образом, чтобы объемы металла, деформированные в течение периода каждой матрицей, были равны между собой.

При ведении процесса деформирования металла таким образом, что силы волочения во всех волоках системы одинаковы, создаются наиболее благоприятные предпосылки для реализации процесса обработки проволоки поочередно нагружающимися во-

локами и получения максимальной деформации за проход.

Так, при распределении вытяжек между волокнами руководствуемся условием (1). Положив с незначительной погрешностью  $\sigma_{sz} = \sigma_{sm}$ , получим максимально возможную логарифмическую деформацию в последней волоке:

$$\ln \mu_z = 1/K, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий непроизводительные потери силы волочения и запас прочности проволоки.

При многоступенчатом волочении с поочередным нагружением волок предельная величина логарифмической деформации максимальна в последней волоке и убывает против хода волочения:

$$\ln \mu_i = \frac{C_z C_{z-1} \dots C_{i-1}}{m_z m_{z-1} \dots m_{i-1} K}, \quad (4)$$

где  $C_z = \sigma_{sz} / \sigma_{sz-1}$  – коэффициент упрочнения в  $z$ -й волоке;  $\mu_z$  – коэффициент вытяжки в той же волоке.

Для поочередного нагружения волок в процессе волочения, тем самым максимального снижения силы волочения, необходимо, чтобы амплитудное значение колебательной скорости волок  $V_{kmax} = 2\pi n A_{oi}$  превышало скорость волочения  $v_i$ , причем указанное превышение, характеризующееся скоростным показателем  $\beta = v_i / 2\pi n A_{oi}$ , тем выше, чем большее количество волок в системе. В общем случае значение  $\beta$  должно удовлетворять соотношению:

$$K_i = 1 - \frac{\arccos b}{p} - \frac{1}{p} \sqrt{1 - b} \frac{\arccos b}{\sin(\arccos b)}, \quad (5)$$

где  $K_i = 1/z$  – коэффициент, характеризующий степень снижения силы волочения при вибрации и зависящий от числа  $z$  волок в системе.

Для нахождения  $\beta$  по заданному количеству  $z$  волок, вибрирующих со сдвигом по фазе, определяют значение  $K_i$ ; затем решают уравнение (5) относительно  $\beta$  численным методом на ЭВМ (ввиду его трансцендентности относительно  $\beta$ ) [5].

Так, при двух волокнах, вибрирующих в противоположных фазах,  $\beta \approx 0,5$ ; при трех волокнах, вибрирующих со сдвигом по фазе на  $(2/3)p$  рад,  $\beta \approx 0,3$ .

Таким образом, для различных материалов заготовки, различных видов технологической смазки, различных типов волочильных установок коэффициенты  $C_i$  и  $K$  будут разными и, согласно (4), это окажет влияние на распределение вытяжек  $\mu_i$  металла между волокнами.

В свою очередь, необходимые амплитуды колебания волок  $A_{oi}$  определяются в зависимости от вытяжек, причем имеют значение не только абсолютные величины амплитуд  $A_{oi}$ , но и соотношения между ними. Например, для двухступенчатого волоче-

ния ( $z=2$ )  $A_{o2} = \mu_2 A_{o1}$ ; при трехступенчатом ( $z=3$ ) волочении  $A_{o2} = \mu_2 A_{o1}$ ;  $A_{o3} = \mu_2 \mu_3 A_{o1}$ .

Изменение вытяжек  $\mu_i$  при переходе с одного материала на другой, а также изменение количества  $z$  матриц в системе требуют определенного соотношения между амплитудами  $A_{oi}$  колебаний матриц.

В предлагаемых к рассмотрению ниже устройствах абсолютные значения амплитуд  $A_{oi}$  зависят от величины эксцентриситета  $\Gamma_i$  эксцентриковых вибровозбудителей.

Устройство для двухступенчатого вибрационного волочения металла (рис. 1,а) содержит стойку две волокна 9,8 установленные последовательно в волокодержателях, закрепленных на концах двуплечих рычагов 1,6, имеющих шарнирные опоры 7 в стойке и шарнирно присоединенных вторыми концами к двум размещенным на общем приводном валу 10 эксцентрикам 3,4 кривошипного (эксцентрикового) вибровозбудителя [3]. Вращение вала 10 приводит в колебательное движение корпуса вибровозбудителя с прикрепленными к ним шатунами 2,5, которые сообщают качательное движение рычагам 1,6.

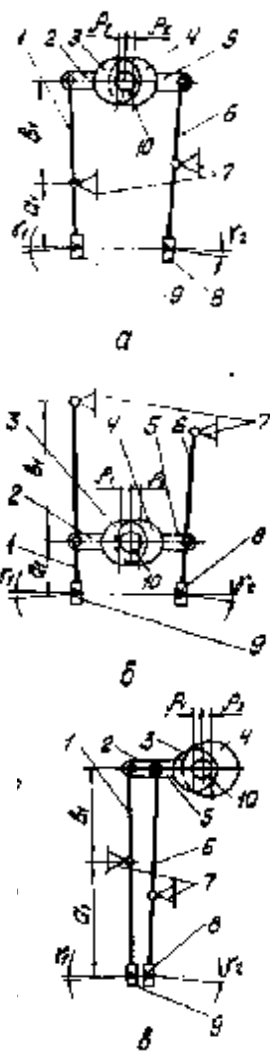


Рисунок 1 – Варианты схем принципиального устройства эксцентрикового вибрационного привода инструмента для двухступенчатого волочения

Таким образом, волокна 9,8, установленные на свободных концах рычагов 1, 6 в волокодержателях, получают осевые колебания и повороты на углы соответственно  $g_1, g_2$ .

Осевые перемещения и угловые повороты, сообщаемые второй по ходу волочения волоке 8, увеличены по сравнению с соответствующими параметрами колебаний первой волоки 9 пропорционально коэффициенту вытяжки металла в волоке, что обеспечивает оптимальный режим виброволочения в обеих волоках. Угловая составляющая колебаний имеет практическое значение при  $p_i / a_i \geq 0,01$ ;  $a_i$  - плечо рычага, примыкающее к  $i$ -й волоке.

Средняя мощность, развиваемая приводом:

$$N_{cp} = w A / 2p = \frac{1}{2} P_0 w e \sin j . \quad (6)$$

Подбором эксцентриситетов  $p_1, p_2$  вибровозбудителей или соотношений  $a_i / b_i$  ( $i = 1, 2$ ) плеч рычагов-волокодержателей обеспечивается равенство

$$b_1 = V_1 / V_{k1 \max} = b_2 = V_2 / V_{k2 \max} , \quad (7)$$

при котором достигается максимальная эффективность вибропроцесса и строго поочередное нагружение волок ( $V_1, V_{k1 \max}, V_2, V_{k2 \max}$  - скорости волочения и максимальные скорости колебания соответственно первой и второй волок). В оптимальном случае должно быть обеспечено также равенство сил волочения ( $P_{1K} = P_{2K}$ ).

Автором предложены и обоснованы и другие схемно-конструктивные решения эксцентрикового вибрационного привода.

В устройстве, показанном на рис. 1, б рычаги волокодержатели 1, 6 прикреплены к шарнирным опорам 7 корпуса своими концами, а вибровозбудители 3, 4 присоединены к рычагам 1, 6 в непосредственной близости от волок 9, 8, что делает амплитудную характеристику более жесткой.

В устройстве (рис. 1, в), благодаря размещению рычагов-волокодержателей 1, 6 по одну сторону от приводного вала 10 вибровозбудителей, достигается минимальное расстояние между волоками 9, 8, что облегчает заправку в них обрабатываемого металла и сокращает отходы на захватки. Кроме того, двухступенчатое устройство легко может быть преобразовано

в трехступенчатое путем добавления третьего вибровозбудителя в комплекте с рычагом-волокодержателем и волокой. При этом все три эксцентрика устанавливаются на приводном валу 10 посредством шлицевого соединения с числом шлицев, равным или кратным шести. Это обеспечивает сдвиг эксцентриситетов как на  $p$  рад при двухступенчатом, так и на  $(2/3)p$  рад. При трехступенчатом варианте виброволочения.

Установлено [2], что при волочении через три волокна, вибрирующие в разных фазах со сдвигом на  $1/3$  периода колебания, достигается снижение силы волочения на  $2/3$  по сравнению с волочением через одну неподвижную волоку при тех же условиях.

**Выводы.** Использование ступенчатого способа волочения позволяет при прочих равных условиях получить вытяжку проволоки за проход в несколько раз большую, чем при волочении через одну неподвижную волоку. При необходимости изменения числа ступеней волочения переход с одной схемы на другую связан с минимальной реконструкцией устройства и осуществляется технически просто.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко В. М., Пригунов В. Г., Силуанов Н.Н. Устройство для вибрационного волочения металла. Авт. свидет. СССР, №615970. - Бюл. изобрет., 1978., № 27.
2. Клименко В.М., Шаповал В.Н. Вибрационная обработка металлов давлением. - Киев: Техніка, 1977. - 120 с.
3. Шаповал В.Н., Проценко В.Н., Познанский В.И., Разработка базовой конструкции вибродеформирующего узла для двухступенчатого волочения // Вісник КДПУ. - 2007. - №5. - С. 58-60.
4. Шаповал В.Н. Теоретическое обоснование, разработка и внедрение высокопроизводительных процессов вибрационного волочения и прессования труднодеформируемых материалов. Диссерт. докт. тех. наук. - Кременчуг, 1988.
5. Шаповал В.Н., Познанский В.И. Определение технологических параметров многоступенчатого вибрационного деформирования заготовок волочением и проталкиванием через монолитные матрицы // Вісник КДПУ. - 2006. - № 5. - С. 59-63.

Стаття надійшла 21.06.07 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф..  
Саленком А.Ф.