

УДК 621.833

И.В. Хромов, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: i.v.khromov@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТЕРЖНЕВЫХ ЗАГОТОВОК С ПОСТОЯННОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Выполнен обзор процессов пластической обработки стержневых заготовок применяемых в сталеканатном производстве. Разработана классификация, позволяющая выполнять системный анализ технологических процессов.

Ключевые слова: стержневая заготовка; процесс пластической обработки; расчетная схема; кинематическая модель; силовой анализ.

В сфере производства метизных изделий (сталепроволочные, канатные и кабельные заводы) широко применяются различные виды технологических процессов, в которых длинномерная стационарно движущаяся заготовка (стержень или витая стержневая система) под воздействием рабочих органов машины необратимо изменяет размеры и форму продольной оси. При этом форма и размеры поперечного сечения стержневой заготовки практически не изменяются. Задачи и методики решения, связанные с анализом указанных процессов, постоянно обсуждаются на страницах периодических изданий в работах отечественных и зарубежных специалистов [1-6]. Вместе с тем до сих пор остаются актуальными вопросы систематизации и обобщения накопленных знаний по технологической механике.

Целью данной статьи является разработка классификации технологических процессов пластической обработки стержневых заготовок, применяемых в сфере сталеканатного и кабельного производства.

Опыт решения прикладных задач показывает, что для построения логически замкнутой теории силового анализа все исследуемые процессы целесообразно разделить на четыре вида: простой процесс; знакопеременный процесс; сложный процесс; комбинированный процесс. Рассмотрим подробно схемы реализации и моделирования различных процессов.

Простой процесс состоит из одного этапа и предполагает только один из трех видов упругопластической деформации стержня: растяжение, изгиб или кручение. Для примера ниже описаны два варианта подобных процессов.

Процесс обтяжки, представленный на рисунке 1, а, осуществляется с помощью двух установленных друг за другом вытяжных механизмов. Первый перемещает заготовку со скоростью V_1 , второй – со скоростью $V_2 > V_1$. За счет разности скоростей, на участке между вытяжными механизмами (отмечен точкой 1), заготовка подвергается начальной упругопластической деформации чистого растяжения ε_n , а на выходе из второго вытяжного механизма, после снятия растягивающей нагрузки, изделие приобретает остаточную деформацию удлинения заданной величины ε_0 . При построении физической модели процесса используется эквивалентная схема нагружения согласно рисунку 1, б и нелинейная диаграмма, описывающая связь деформации удлинения ε и внутренней продольной силы N (рисунок 1, в).

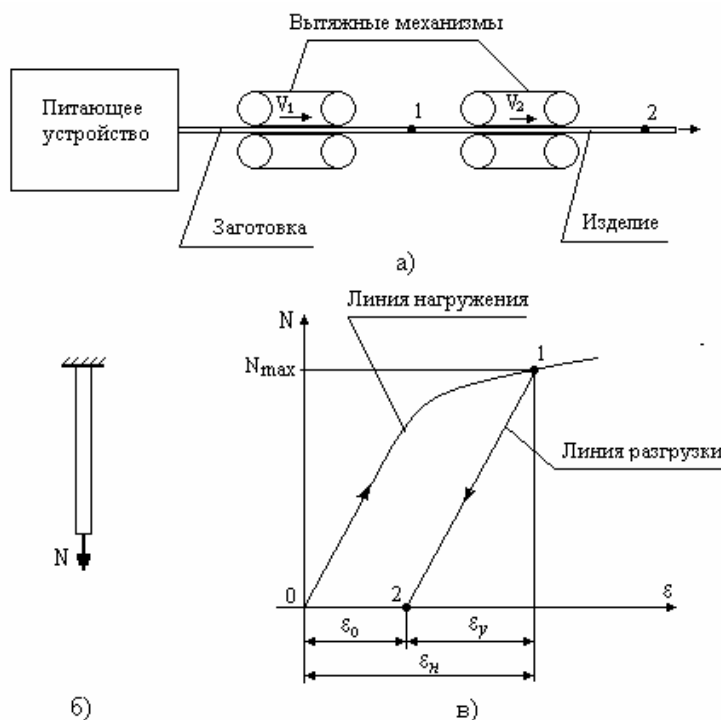


Рисунок 1 – Моделирование процесса обтяжки: а) кинематическая схема; б) схема нагружения заготовки; в) диаграмма деформации

Следующий вариант простого процесса представлен на рисунке 2, а. Здесь длинномерная заготовка подвергается предварительной деформации упругопластического изгиба (преформация) с начальной кривизной k_n и на выходе приобретает остаточную кривизну k_0 [2]. Процесс осуществляется с помощью цилиндрической оправки, на которую непрерывно наматывается, а затем сматывается заготовка. В результате такой обработки готовое изделие приобретает форму кольца с заданным средним диаметром D_2 .

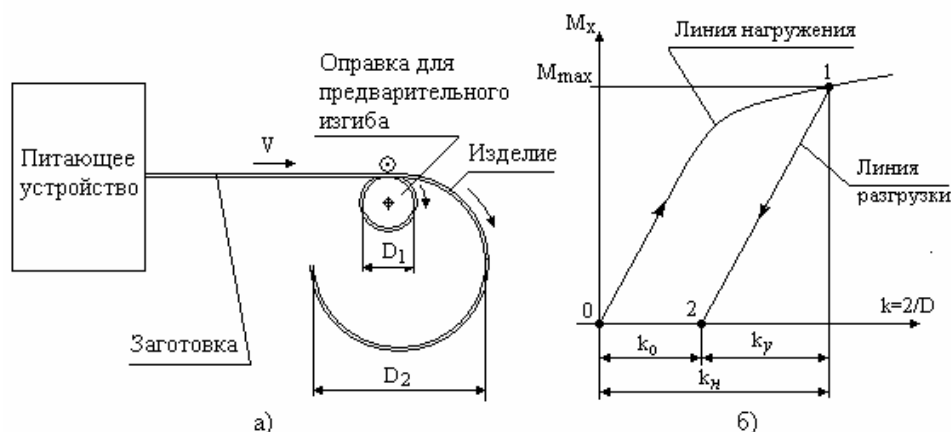


Рисунок 2 – Моделирование процесса преформации: а) кинематическая схема; б) диаграмма деформации

В данном случае для построения физической модели процесса используется нелинейная диаграмма, описывающая связь деформации изгиба k (кривизна) и внутреннего изгибающего момента M_x (рисунок 2б).

Знакопеременный процесс включает несколько этапов изменяющейся по направлению упругопластической деформации одного вида: изгиб или кручение.

Характерным примером является рихтовка – многократный знакопеременный упругопластический изгиб стержневой заготовки на роликах рихтовального аппарата (рисунок 3, а). Этот вид обработки используется для обеспечения прямолинейности (выпрямления) стержневой заготовки, а также для перераспределения или снижения величины остаточных напряжений в готовом изделии [5]. Графическая схема физической модели процесса представлена на рисунке 3, б в виде многоступенчатой диаграммы $M_x(k)$. Как и в случае процесса преформации, при рихтовке стержень испытывает деформацию чистого изгиба. Однако знакопеременный характер деформации приводит к значительному усложнению математической модели данного процесса. Промежуточные положения произвольного поперечного сечения стержневой заготовки при ее движении вдоль рихтовального аппарата на рисунке 3а отмечены точками 1, 2, ..., 7. Соответствующие этим положениям напряженно-деформированные состояния поперечного сечения отмечены точками на диаграмме $M_x(k)$ (рисунок 3, б).

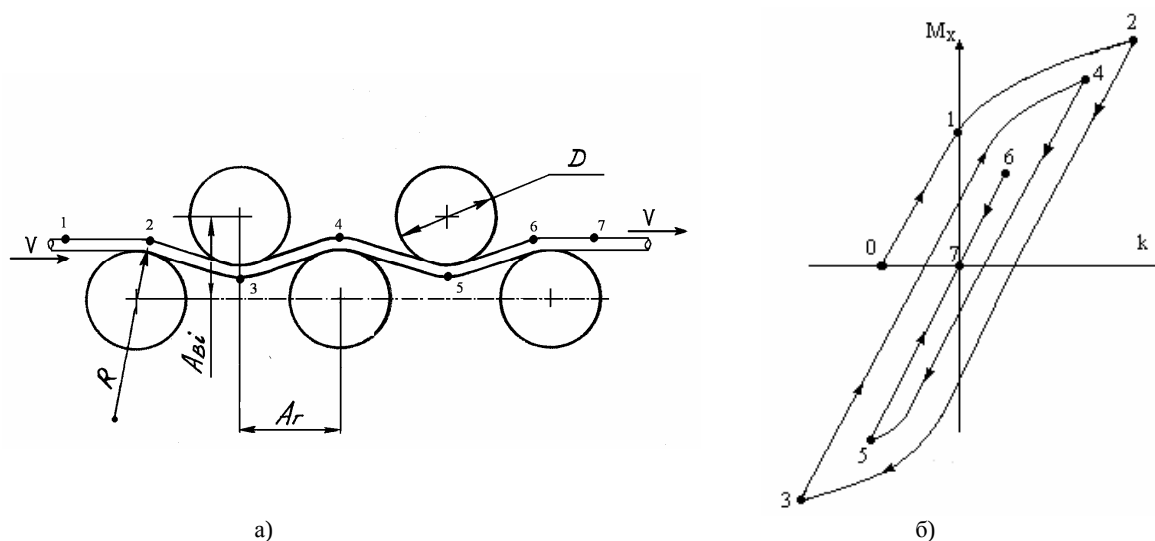


Рисунок 3 – Моделирование процесса рихтовки: а) кинематическая схема; б) диаграмма деформации

Многokrатная торсионная обработка также представляет знакопеременный процесс и включает несколько этапов деформации чистого кручения стержневой заготовки. По назначению такая обработка аналогична рихтовке, т.е. применяется для снижения величины остаточных напряжений в готовом изделии. Кинематическая схема двукратной торсионной обработки приведена на рисунке 4. Знакопеременная деформация кручения здесь реализуется за счет двух торсионов, вращающихся в противоположных направлениях с угловыми скоростями ω_1, ω_2 . Как и в предыдущем случае, физическая модель процесса может быть описана многоступенчатой диаграммой кручения $M_{кр}(\theta)$ упругопластического стержня, характер которой аналогичен диаграмме изгиба $M_x(k)$ на рисунок 3, б.

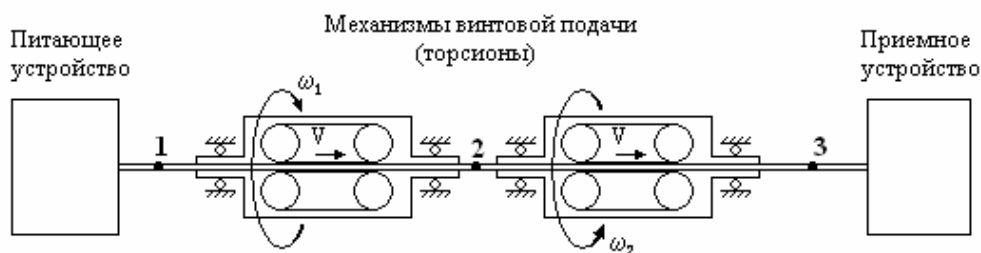


Рисунок 4 – Кинематическая схема процесса двукратной торсионной обработки

Сложный процесс предполагает одновременную деформацию растяжения, изгиба и кручения стержневой заготовки. Рассмотрим следующие примеры.

1. Преформация стержня с растяжением. В представленной выше схеме процесса на рисунке 2 предполагалось в первом приближении, что заготовка поступает в зону деформации изгиба без натяжения. Более точная модель должна учитывать, что под влиянием технологического натяжения при пластическом изгибе заготовка испытывает дополнительную деформацию удлинения (изгиб с растяжением).

2. Торсионная обработка в общем случае также относится к группе сложных процессов. Под влиянием технологического натяжения заготовка при пластическом кручении, как и в предыдущем случае, испытывает дополнительную деформацию удлинения. Величина этой деформации зависит от заданной продольной силы и текущего значения деформации кручения (кручение с растяжением).

3. Обтяжка, преформация или торсионная обработка витого изделия [1,3,4]. В этих случаях необходимо учитывать, что витое изделие представляет собой систему спиралевидных стержней навитых на общий сердечник (рисунок 5, а,б,в). Поэтому, если в процессе обработки витое изделие нагружается только одним из внешних силовых факторов $N', M'_x, M'_{кр}$, то в отдельном стержневом элементе одновременно возникает три внутренних силовых фактора $N, M_x, M_{кр}$ (рисунок 5, г). То есть отдельный элемент каната испытывает одновременное растяжение, кручение и изгиб.

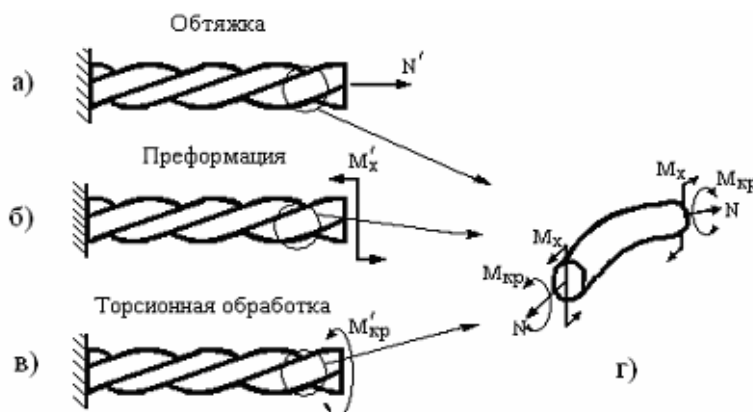


Рисунок 5 – Схемы нагружения многопроволочного витого изделия и его элементов при различных видах обработки

Комбинированный процесс представляет композицию из нескольких последовательно выполняемых различных технологических операций.

Современные промышленные технологии изготовления многопроволочных витых изделий (канаты, кабели, металлокорд) основаны на применении комбинированных процессов. Пример показан

на рисунке 6 – это схема техпроцесса изготовления стального спирального каната, реализуемого на свивающей машине сигарного типа. Машина включает следующие технологические элементы и узлы: питающие катушки 1, смонтированные на неподвижных каретках внутри ротора 2, вращающегося со скоростью ω_1 ; преформатор 3; обжимные плашки 4; торсионное устройство 5, вращающееся со скоростью ω_2 ; рихтователь 6 и приемно-вытяжной механизм 7.

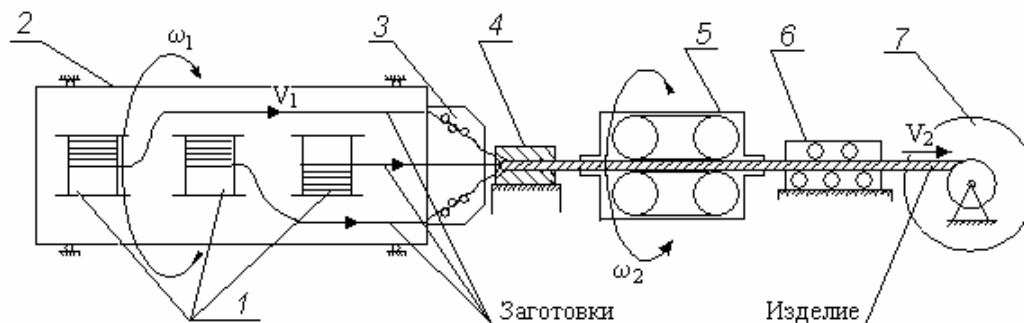


Рисунок 6 – Кинематическая схема процесса изготовления стального спирального каната

Реализуемый по указанной схеме технологический процесс представляет собой комбинацию последовательно выполняемых простых, знакопеременных и сложных этапов деформации стержневых заготовок (проволок): 1) растяжение под действием технологического натяжения (создается за счет тормозных устройств питающих катушек); 2) кручение на участке между питающей катушкой и обжимными плашками при постоянной продольной силе; 3) изгиб в преформаторе при одновременном действии продольной силы и крутящего момента; 4) изгиб на входе в обжимные плашки при одновременном действии продольной силы и крутящего момента; 5) сложная деформация проволок в процессе торсионной обработки каната 6) знакопеременная деформация проволок в процессе рихтовки каната; 7) сложная деформация проволок при разгрузке каната от продольного усилия в приемном устройстве. Общая математическая модель комбинированного процесса должна включать набор формул и уравнений для многократного пошагового расчета напряженного состояния произвольного поперечного сечения проволоки в процессе его движения от питающих катушек до приемного барабана канатобьющей машины с учетом пластических свойств материала [6].

Вывод. Разработанная классификация позволяет выполнять системный анализ технологических процессов пластической обработки стержневых заготовок. С использованием предложенной классификации проектировщик может идентифицировать технологический процесс и принять обоснованное решение по выбору структурной схемы, а также методов кинематического и силового анализа.

Предметом дальнейших исследований является классификация типовых задач технологической механики, связанных с проектированием рассмотренных в статье процессов.

Библиографический список

1. Козлов В.Т. Изменение напряженного состояния в проволоках спиральных канатов при обтяжке / В.Т. Козлов, А.Т. Киришанков // Стальные канаты. — 1967. — Вып. 4. — С. 58–63.
2. Козовый С.И. Исследование напряженно-деформированного состояния круглых проволок, свиваемых в спиральный канат с предварительной деформацией изгиба или кручения / С.И. Козовый // Стальные канаты. — 1971. — Вып. 8. — С. 196–204.
3. Ветров А.П. Изготовление канатов с преформацией прядей / А.П. Ветров, Н.К. Гончаренко // Черная металлургия. — М, 1973. — Сер. 9. — Вып. 3. — 22 с.
4. Chromov W., Verwendung des Integralverfahrens für das Plastische Fließen eines Stabs zur Berechnung des Verseilvorgangs / W. Chromov, J. Wulkau, W. Geuricke // Neue Hütte. — 1984. — № 29. — Heft 1. — S. 21–22.
5. Li Yitai Theoretische Analyse des Biegeprozesses von Rundstäben / Yitai Li // Draht. — 1994. — 45 (11-12). — S. 604–608.
6. Хромов И.В. Технологическая механика стальных канатов. Практическое применение. Пути развития / И.В. Хромов // Надежность и долговечность механизмов, элементов конструкций и биомеханических систем: матер. междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 2-5 сентября 2008 г. — Севастополь, 2008. — С. 25–27.

Поступила в редакцию 22.02.2010 г.