

М249496

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НОВИНСКИЙ Борис Серафимович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ
ВОЛНИСТЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ПРУЖИН

(05.03.05—Технология и машины обработки давлением)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент Овчинников А. Г.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Матвеев А. Д.,
кандидат технических наук, доцент Соловцов С. С.

Ведущее предприятие — указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан

Защита диссертации состоится
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механизация производства» Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н. Э. Баумана по адресу: Москва, 107005, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах
сылать по указанному адресу.

С диссертацией могут ознакомиться
лица.

Ученый секретарь Совета
доктор технических наук

М 24 94 96

Современное развитие машиностроения выдвигает проблему уменьшения габаритов проектируемых узлов и составляющих их деталей.

В частности, конструктивное оформление упругих элементов, создающих усилие в широком диапазоне при малых перемещениях, существенно видоизменилось. Наряду с ранее широко применявшимися тарельчатыми пружинами с постоянным и переменным сечениями, нашли применение волнистые кольцевые пружины, которые выгодно отличаются от первых

- возможностью получения упругого элемента с меньшей жесткостью, чем жесткость тарельчатых пружин;
- возможностью получения упругого элемента с линейной характеристикой.

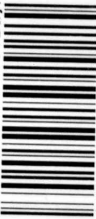
Широко распространенные в машиностроении цилиндрические и винтовые спиральные пружины уступают волнистым кольцевым пружинам по габаритам, а плоские пружины плохо komponуются в осесимметричной конструкции, где упругий элемент должен создавать усилие вдоль оси изделия.

Широкое внедрение волнистых кольцевых пружин в конструкцию машиностроительных узлов сдерживается в связи с отсутствием исследований и рекомендаций для разработки технологии их изготовления, основной операцией которой, влияющей на характеристику пружины, является штамповка.

В опубликованных работах тт. С.Д. Пономарева, В.Б. Жукова и др. приведены расчеты на прочность и жесткость волнистых кольцевых пружин, но отсутствуют рекомендации по выбору формы этих пружин и не рассмотрено влияние формы рабочей поверхности и конструкции гибочного штампа на линейность характеристики пружины.

В данной работе разработан и исследован процесс штамповки волнистых пружин с линейной характеристикой, рассмотрены другие технологические операции, применяемые для изготовления этих пружин, рекомендованы их параметры, а также, даны рекомендации по изготовлению штамповой оснастки.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1249496

Новинский Б.С. Исследован

Глава I. Применение и особенности волнистых кольцевых пружин. Состояние вопроса.

В качестве компактного пружинящего элемента в современных изделиях, имеющих малые габариты, находят применение волнистые кольцевые пружины благодаря:

- хорошей компактности;
- малым габаритам;
- возможности получения пружин с линейной характеристикой;
- возможности создания усилий от нескольких кгс до нескольких сотен кгс при небольшой величине осадки пружины / $I + 4$ мм /;
- возможности применения при изготовлении прогрессивной технологии - штамповки.

В современном производстве волнистые кольцевые пружины штампуют из тонкой холоднокатанной стальной ленты / таль 65Г/ с последующей термообработкой и заневоливанием.

Рабочая характеристика, типичная для волнистой кольцевой пружины, обычно состоит из участков с линейной и нелинейной зависимостью между усилием и осевой деформацией пружины. Исходя из условий эксплуатации волнистых кольцевых пружин, желательно, чтобы линейный участок характеристики составлял не менее $\approx 80\%$ от ее полной осадки.

Применение волнистых кольцевых пружин ограничено возможностью их изготовления. Пружины с наружным диаметром менее 10 мм нельзя изготовить, поскольку для такого диаметра невозможно получить волну с перепадом по высоте достаточную для работы даже при минимальном количестве волн / $n = 3$ /. Волнистые кольцевые пружины теоретически могут иметь любое количество волн, начиная с трех, но при увеличении количества волн следует уменьшать толщину пружины. При одинаковом заданном усилии это приводит к уменьшению допустимого прогиба. Наиболее целесообразно применять волнистые кольцевые пружины с количеством волн = 3.

Анализ литературных данных, относящихся к рассмотрению

- волнистых кольцевых пружин, показал, что для получения пружин с линейной характеристикой необходимо при их штамповке исключить появление в конце осадки в ее сечениях крутящих моментов и сжимающих усилий. Для чего, при штамповке волнистых кольцевых пружин необходимо, чтобы
- рабочая поверхность гибочного штампа была выполнена в виде разворачивающей поверхности;
 - заготовка пружины при действии максимального формообразующего усилия принимала форму гибочного штампа / инструментальный штамп /;
 - при штамповке срединная поверхность заготовки пружины не растягивалась в тангенциальном /окружном/ направлении.

Глава II. Постановка задачи, выбор и обоснование методов исследования.

Целью данной работы является разработка и исследование технологического процесса штамповки волнистых кольцевых пружин, при котором заготовка получает форму в виде разворачивающей поверхности; форма и размеры гибочного штампа выбраны с учетом пружинения материала и определена величина деформирующего усилия, что важно для выбора оборудования.

При разработке данного технологического процесса необходимо провести:

- исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при ее штамповке с целью определения деформирующего усилия, необходимого для формообразования волнистой кольцевой пружины;
- решение упруго-пластической задачи изгиба кольцевой заготовки в процессе формообразования пружины с целью определения величины пружинения заготовки, необходимой для учета при проектировании гибочного штампа;
- исследование влияния формы рабочей поверхности гибочного штампа на линейность рабочей характеристики волнистой кольцевой пружины;
- разработку методики расчета профиля гибочного штампа;
- разработку технологии изготовления гибочного штампа с

- заданной формой рабочей поверхности;
- внедрение результатов исследования в производство для изготовления волнистых кольцевых пружин.

В опубликованных работах по технологии изготовления волнистых кольцевых пружин приведены отрывочные, противоречивые рекомендации по отдельным технологическим операциям. Поэтому проведены дополнительные исследования с целью разработки рекомендаций, необходимых для проектирования всего технологического процесса изготовления волнистых кольцевых пружин, работающих в изделиях при температурах от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$ в течение 10 лет.

Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе штамповки волнистых кольцевых пружин проведен с учетом упрощающих гипотез /задача приведена к плоско-деформированному состоянию/. Отсутствие растяжения срединной поверхности позволяет при анализе напряженно-деформированного состояния заготовки воспользоваться теорией малых пластических деформаций. Большая величина относительного радиуса изгиба одной полуволны пружины дает возможность принять неизменность толщины заготовки. Кроме того, допущение, что материал заготовки при пластической деформации является жестко пластическим, позволяет пренебречь упругими составляющими и существенно упрощает решение. Найденное в результате теоретических исследований значение σ_z может быть использовано для определения формообразующего усилия, а значение напряжения, действующего в меридиональной плоскости, σ_θ - для определения изгибающего момента M_θ , который с помощью теоремы о разгрузке позволяет найти величину пружинения заготовки после снятия активной нагрузки.

Для получения упрощенного способа решения поставленной задачи, удобного для применения в цеховых условиях, последняя была решена путем рассмотрения деформации одной полуволны пружины как поперечный упруго-пластический изгиб прямоугольного бруса. При этом учитывалось влияние на кривизну и прогиб заготовки перерезывающей силы с учетом исследований, выполненных М.И. Лисовым. Величина пружинения

определялась исходя из тех же предпосылок на основе теории о разгрузке. Точность полученного решения лежит в пределах 20% и зависит от соотношения диаметра пружины, количества волн и ширины кольца заготовки.

Для экспериментальной проверки правильности предложенной конструкции гибочного штампа, обеспечивающей движение заготовки к центру при ее штамповке, был применен штамп, оснащенный точечными месдозами.

Глава III. Теоретические исследования процесса формоизменения заготовки при штамповке волнистой кольцевой пружины.

Исходя из требований, предъявляемых к рабочей поверхности гибочного штампа, в котором можно получать волнистые кольцевые пружины с линейной характеристикой, принята для этих целей коническая поверхность. Эта поверхность образуется следующим образом: хорда сектора заготовки, соответствующего одной полуволне пружины, изгибается по радиусу. В связи с тем, что длина хорды не изменяется, сектор займет новое положение в пространстве, образуя часть конической поверхности. Обратная полуволна пружины образуется по такому же закону. Причем, вершины образующих конических поверхностей всех полуволн совпадают в одной точке. Такая методика образования конической поверхности создает плавную, без резких переходов, поверхность упругого элемента.

Для удобства теоретического решения упрочнение материала выражено в виде степенной функции

$$\sigma_i = K \varepsilon_i^p, \quad (1)$$

где $K = \frac{\sigma_{0.2}}{\varepsilon_{0.2}^p}$; $p = \frac{\lg \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.2}}}{\lg \frac{\varepsilon_{0.2}}{\varepsilon_{0.2}}}$

Параметры K и p уравнения /1/ определяются по результатам испытания на растяжение. Для стали 65Г-С это уравнение примет вид $\sigma_i = 36 \varepsilon_i^{0.23} [кг/мм^2]$.

Для нахождения решения напряженно-деформированного состояния в любой точке заготовки в момент окончания

формообразования пружины рассмотрены известные в теории обработки давлением уравнения:

- уравнения равновесия в цилиндрических координатах;
- уравнения зависимости между перемещениями и деформациями;
- уравнения зависимости между напряжениями и деформациями;
- выражение интенсивности деформации;
- уравнение упрочнения материала, выраженное в виде степенной функции $/I/$.

Для упрощения решения напряженно-деформированного состояния заготовки, рассмотрим равновесие только части заготовки, соответствующей одной четверти волны пружины, учитывая полное подобие ее волн.

Выбор начала цилиндрических координат в точке перегиба волны позволяет распространить решение напряженно-деформированного состояния, полученное для четверти волны изогнутой вниз относительно точки перегиба, на четверть волны заготовки, изогнутой вверх, по законам кривой симметрии. Решение плоско-деформированной задачи проведено в относительных величинах, отнесенных к внутреннему радиусу заготовки $R_{вн}$. Поэтому и центр координат расположим на внутреннем радиусе

$$\begin{aligned} 1 = \frac{R_{вн}}{R_{вн}} &\leq \rho = \frac{|\bar{\rho}|}{R_{вн}} \leq \frac{R_{н}}{R_{вн}}; \\ 0 &\leq W = \frac{|\bar{W}|}{R_{вн}} \leq \frac{h}{R_{вн}} = A; \\ 0 &\leq Z = \frac{|\bar{Z}|}{R_{вн}} \leq \frac{t}{2R_{вн}}, \end{aligned}$$

где h - высота полу волны рабочей части профиля гибочного штампа;

$\bar{z}, \bar{\theta}, \bar{\rho}$ - текущие координаты;

$R_{н}, R_{вн}$ - наружный и внутренний радиусы заготовки;

t - толщина пружины;

$\bar{W}, \bar{U}$ - перемещения в направлении осей Z, θ .

Перемещения W и U выбраны с учетом граничных условий в виде следующих подходящих функций, в которых неизвестным является коэффициент A .

$$W = -A\rho \sin \frac{\pi\theta}{\varphi};$$

$$U = -Z \frac{\partial W}{\partial \theta} = Z A \rho \frac{\pi}{\varphi} \cos \frac{\pi\theta}{\varphi},$$

где $\varphi = \frac{\pi}{n}$;

n - количество волн.

Третью компоненту перемещений u вдоль оси ρ определяем из условия неразрывности деформации. /Постоянство объема при пластической деформации/. После соответствующих преобразований и интегрирования получаем:

$$u = z A \frac{\rho}{2} \left(\frac{\pi}{\varphi} \right)^2 \sin \frac{\pi \theta}{\varphi}.$$

Найденные значения перемещений позволяют получить формулы для определения ε_ρ , ε_θ , $\gamma_{\rho\theta}$, $\gamma_{\theta z}$, $\gamma_{z\rho}$, ε_i , σ_i и касательных напряжений.

Решая совместно уравнения равновесия и уравнения зависимости между напряжениями и деформациями, найдем значение величины σ_θ .

$$\begin{aligned} \sigma_\theta = & - \int_{\rho_{\text{вн}}}^{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\frac{2 \sigma_i}{3 \varepsilon_i} (\varepsilon_\rho - \varepsilon_\theta) \right] d\rho - \int_{\rho_{\text{вн}}}^{\rho} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\sigma_i}{3 \varepsilon_i} \gamma_{\theta\rho} \right) d\rho - \\ & - \int_{\rho_{\text{вн}}}^{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma_i}{3 \varepsilon_i} \gamma_{\rho z} \right) d\rho - \int_{\rho_{\text{вн}}}^{\rho} \frac{1}{\rho} \frac{2 \sigma_i}{3 \varepsilon_i} (\varepsilon_\rho - \varepsilon_\theta) d\rho - \\ & - \int_0^\theta \left(\rho \frac{\partial \tau_{\theta\rho}}{\partial \rho} + \rho \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + 2 \tau_{\rho\theta} \right) d\theta + \sigma_{\theta z}. \end{aligned}$$

Найденное поле распределения σ_θ позволяет определить изгибающий момент M_θ , который в дальнейшем используется, согласно теореме о разгрузке, для получения величины пружинения:

$$\frac{1}{\bar{R}} = \frac{1}{R} - \frac{M_\theta}{E J},$$

где $\bar{R}$, R - радиусы кривизны полувоины заготовки после пружинения и штампа;

E - модуль упругости;

J - момент инерции прямоугольного сечения.

Высота пружины после пружинения находится по формуле:

$$H_{np} = 2(R_s + t) + (R_H - R_{\text{вн}}) \cos \beta_{\max}, \quad (2)$$

где $h_i = R(1 - \cos \frac{R\alpha}{2R})$ - высота полувоины заготовки после пружинения;

α - центральный угол согнутой полувоины по радиусу в штампе;

$\beta_{\max}$ - угол между образующей конической поверхности в максимальной по высоте точке волны рабочего профиля гибочного штампа и осью конуса.

Значение ϵ_0 определяется из уравнения по формуле:

$$\sigma_z = - \int_0^z \frac{\partial \tau_{z\rho}}{\partial \rho} dz - \int_0^z \frac{\tau_{z\rho}}{\rho} dz - \int_0^z \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{z\theta}}{\partial \theta} dz + f(\rho, \theta).$$

Постоянная интегрирования находится из условия, что

$$\sigma_z = 0 \text{ при } z = -\frac{h}{2}, \rho = \rho_{\text{вн}}, \theta = 0.$$

Имея выражение для σ_z , как функции координат точек заготовки, можно получить общее деформирующее усилие, необходимое для штамповки волнистой кольцевой пружины.

Изложенная выше методика решения позволяет установить величину пружинения заготовки и формообразующего усилия. Для решения данной задачи желательно использовать ЭВМ.

Для разработки упрощенных методов расчета формообразующего усилия и определения величины пружинения заготовки после ее штамповки, которые можно применять в цеховой практике и были бы приемлемы по точности, рассмотрена деформация одной полуволны, как пластический изгиб прямоугольного бруса.

Рассматривая изгиб прямоугольного бруса, как объемно-напряженное тело, с учетом влияния перерезывающей силы по методике М.И. Лисова и пренебрегая взаимным нажатием волокон друг на друга, т.к. относительный радиус кривизны $\epsilon_0 = \frac{R}{t} > 5$ для волнистых кольцевых пружин, находим величину формообразующего усилия всей пружины по формуле:

$$P_{np} = n 2k \left[\frac{1}{2^{P+2}(2+P)} \right]^{1/P} \left(\frac{\alpha_1}{\epsilon_c} \right)^{1/P} \frac{6t}{\epsilon_0^P} \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f_{tr} \sin \frac{\alpha}{2} \right) (\sin \beta_{max} + \sin \beta_{min}),$$

где $\alpha_1 = 0,6 \div 0,7$ -- коэффициент пропорциональности модулей сдвига и растяжения;

$\beta_c = \frac{3}{2}$ -- коэффициент прямоугольной формы поперечного сечения;

b -- ширина заготовки;

f_{tr} -- коэффициент трения.

Величина пружинения определяется исходя из тех же предпосылок, что и формообразующее усилие.

Относительный радиус заготовки после пружинения находится по формуле:

$$\epsilon_0 = \frac{\epsilon_0}{1 - \left[\frac{6k}{E 2^P (P+2)} \right] \epsilon_0^{1-P}},$$

где $\bar{\epsilon}_0 = \frac{R}{t}$ -- относительный радиус кривизны после пружинения.

Высота пружины после пружинения определяется по формуле /2/.

Для построения конической поверхности гибочного штампа, позволяющего изготовить волнистую кольцевую пружину с максимальным линейным участком рабочей характеристики, необходимо найти математические зависимости и разработать метод расчета основных параметров этой поверхности. В качестве исходных данных для расчета конической поверхности достаточно знать n , R_n и h .

Эти параметры позволяют, используя геометрические соотношения для принятой поверхности, определить размеры рабочих элементов штампа для его изготовления:

$$\alpha = \frac{2R_n \sin \psi}{0,01745 h} \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} \quad (3); \quad \psi = \frac{90^\circ}{n};$$

$$R = \frac{2R_n \sin \psi}{0,01745 \alpha}; \quad R_{\max} = a \operatorname{ctg} \frac{R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi}{\rho} + a \operatorname{ctg} \frac{h}{R_n \cos \psi};$$

$$\ell = R_n \sqrt{1 - \frac{R^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{R_n^2 \sin^2 \psi}}; \quad R_{\min} = a \operatorname{ctg} \frac{R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi}{\rho} - a \operatorname{ctg} \frac{h}{R_n \cos \psi},$$

где ℓ - высота конуса.

Уравнение /3/ решается методом подбора с точностью не менее 10^{-5} . Это обеспечивает хорошее совпадение ординат выпуклой и вогнутой части полуволны. Для построения конической поверхности штампа рассчитывают координаты линии пересечения этой поверхности с любой цилиндрической, поверхностью, радиус которой R_c больше радиуса R_n . Задаваясь значениями R_c и углом в плане $m\psi$, определяют ординаты кривых выпуклой и вогнутой частей полуволны по формулам:

$$y = R_c \frac{\frac{\rho}{R} - \left(\cos \frac{\alpha_0}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \sin \beta_{\max}}{\frac{\sin \frac{\alpha_0}{2}}{\sin m\psi} + \left(\cos \frac{\alpha_0}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cos \beta_{\max}}; \quad (4)$$

$$y = R_c \frac{\frac{\rho}{R} + \left(\cos \frac{\alpha_0}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \sin \beta_{\min}}{\frac{\sin \frac{\alpha_0}{2}}{\sin m\psi} - \left(\cos \frac{\alpha_0}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cos \beta_{\min}}; \quad (5)$$

где $\frac{\alpha_0}{2}$ определяется для каждой точки из следующего уравнения $\sin \frac{\alpha_0}{2} = \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi \operatorname{tg} m\psi$;

m - коэффициент, выраженный правильной дробью.

Знаменатель этой дроби выбирается в зависимости от требуемой частоты определяемых точек кривой.

Для точек, соответствующим углам $\beta_{\max}$ и $\beta_{\min}$, определяются ординаты по формулам:

$$Y = R_{\psi} \operatorname{ctg} \beta_{\max}; \quad (6)$$

$$Y = R_{\psi} \operatorname{ctg} \beta_{\min}. \quad (7)$$

Глава IV. Экспериментальное исследование штамповки волнистых кольцевых пружин.

Для установления наличия заземления заготовки пружины при ее штамповке в принятой конструкции гибочного штампа был использован штамп-прибор, оснащенный месдозами. Измерения проводились на штамп-приборе, состоящем из рабочей части, обеспечивающей формообразование пружины и измерительного устройства, предназначенного для замеров параметров действующих силовых факторов в отдельных характерных точках рабочего профиля штампа. Штифт месдозы устанавливается одним концом заподлицо с рабочей поверхностью пуансона. Другой конец штифта переходит в площадку, на которой наклеено проволоочное сопротивление с базой 10 мм и шириной 5 мм /сопротивление $\approx 116 \text{ Ом}$ /. Температурные датчики устанавливались на выступах переходной плиты, не воспринимающих механической нагрузки. Усиление и регистрация сигналов датчиков производилась при помощи усилителя 8АН4-7М. Общее усилие деформации заготовки пружины фиксировалось с помощью силоизмерительного устройства разрывной машины.

По результатам проведенных исследований установлено, что в штампе, несмотря на довольно пологий профиль волны пружины, происходит зажатие заготовки, если профиль матрицы не отличается от профиля пуансона на толщину заготовки пружины. Это зажатие необходимо устранить, т.к. заготовка должна перемещаться при штамповке к центру.

При разработке технологии изготовления гибочного штампа, имеющего коническую рабочую поверхность, был проведен анализ возможности изготовления этой поверхности на универсальном станочном оборудовании. Анализ показал, что если

вершина конической поверхности пуансона перемещается при обработке в пространстве, то эта поверхность будет искажаться. Поэтому для изготовления пуансона было предложено использовать копировальное приспособление к токарному станку, позволяющее быстро получить требуемый рабочий профиль гибочного штампа с необходимой чистотой поверхности и возможностью повторения.

На шпиндель станка устанавливается обойма, к которой крепится заготовка пуансона и копир, изготовленный из стали 10 ГОСТ 914.56/ толщиной 2 мм. На развертку копира наносится требуемый профиль по ординатам, рассчитанным по формулам /4,5,6,7/. Затем профиль вырезается и сгибается в цилиндр по принятому R_c . Вместо резцодержателя на станок устанавливается копировальная линейка, на которой закреплены резец и копировальный ролик. После выверки положения копировальной линейки производят обработку пуансона. Скорость вращения обоймы равна $\approx 30^{00}/\text{мин}$. Матрица гибочного штампа изготавливается путем опрессовки ее с помощью пуансона.

В соответствии с результатами замеров с помощью штампприбора профиль матрицы изготавливается с учетом толщины материала заготовки пружины. Для чего, при опрессовке матрицы между навеской прессматериала и пуансоном помещается металлическая шайба толщиной, равной толщине пружины. Принимая расчетную поверхность за поверхность пуансона, тем самым вносится погрешность в рассчитанный профиль пружины, однако, эта погрешность настолько незначительна, что ее можно пренебречь, учитывая ту простоту, которую дает это допущение при изготовлении гибочных штампов.

Сравнение результатов теоретических расчетов с экспериментальными величинами формообразующего усилия и пружинения показали, что точность упрощенных методов лежит в пределах 20%, а точных методов - в пределах 3-5%.

Результаты проведенных исследований показали большое значение применения смазки при штамповке пружины, т.к. отсутствие ее приводит к нарушению схемы деформирования и искажению формы пружины. В результате экспериментальных

работ рекомендуется смазка ОКБ-122-7 МРТУ 38-I-230-66.

Глава У. Исследование других технологических операций, необходимых для изготовления волнистых кольцевых пружин.

Опубликованные в технической литературе сведения не содержат данных, необходимых для расчета и проектирования всего технологического процесса изготовления волнистых кольцевых пружин, поэтому были проведены дополнительные исследования, которые позволили

- исследовать влияние состояния поверхности материала на рабочую характеристику пружины /заготовка получена из листа, ленты или путем шлифовки из более толстой заготовки/;
- исследовать влияние подчеканки и скорости деформирования заготовки на рабочую характеристику пружины;
- исследовать и рекомендовать режим заневоливания;
- исследовать возможность применения доводочных операций с целью получения пружины требуемой высоты.

Для отработки технологического процесса изготовления волнистых кольцевых пружин были проведены статистические исследования при изготовлении 1400 шт. пружин.

Экспериментальные исследования влияния на высоту пружины состояния поверхности материала показали, что можно рекомендовать использование ленты, как имеющей меньший допуск на толщину и не требующей дополнительной обработки.

Проведенные эксперименты позволили установить, что при наличии хорошей смазки скорость деформирования и увеличение усилия деформирования сверх необходимого для формообразования пружины /подчеканка/ не влияют на ее высоту.

В результате исследования влияния температуры и времени выдержки пружины при ее стабилизации установлено, что для пружин работающих в скатом состоянии в течение 10 лет при температурах от -60° до $+50^{\circ}\text{C}$, стабилизацию

необходимо проводить при температуре $150 \pm 5^\circ\text{C}$. Для любой температуры стабилизации существует время, при котором происходит активный процесс протекания пластичного течения и замедленный процесс, протекающий независимо от времени. В связи с этим для температуры стабилизации 150°C можно рекомендовать время выдержки 3 часа. Учитывая, что при стабилизации нагрузка должна превышать максимальную эксплуатационную нагрузку, при заневоливании пружину сжимали до полного выпрямления ее волн.

Для уменьшения высоты пружины в процессе ее изготовления можно применять, как показали эксперименты, одну из следующих доводочных операций: пескоструйная обработка заготовки до термообработки или проточка внутреннего диаметра сжатой пружины до нанесения антикоррозионного покрытия.

Исследования показали, что для каждого номинального размера пружины существует высота, которую при данном диаметре, количестве волн и толщине материала невозможно увеличить независимо от перепада высоты волны в примененном гибочном штампе.

ВЫВОДЫ

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана операция штамповки волнистой кольцевой пружины с заданной линейной характеристикой.

2. Точное решение напряженно-деформированного состояния заготовки при ее штамповке позволило получить зависимости для определения величины пружинения и формообразующего усилия.

3. Разработаны упрощенные методы определения величины пружинения и формообразующего усилия, позволяющие в цеховых условиях с несколько меньшей точностью, но по более простым формулам, рассчитать и спроектировать рабочий инструмент и подобрать соответствующее оборудование.

4. Разработана конструкция, метод расчета и технология изготовления рабочей поверхности гибочного штампа.

5. Разработаны на основе экспериментальных исследований рекомендации для выбора параметров отдельных технологических операций процесса изготовления волнистых кольцевых пружин / выбор антикоррозионного покрытия, режима заневоливания и др. /.

6. Разработанный технологический процесс опробован и внедрен в серийное производство.

✱

✱

✱

По теме диссертации опубликована статья
Новинский Б.С., Овчинников А.Г., Пелевин Н.В.
Штамповка волнистых кольцевых пружин. "Кузнечно-штамповочное производство", № 8, 1974г.