

УДК 621.983.044

Е. А. ФРОЛОВ, докт. техн. наук, проф., ПНТУ, Полтава;**О. Г. НОСЕНКО**, ст. преподаватель, ПНТУ, Полтава**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ С ДИФФУЗИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ**

В статье на основании проведенных теоретических исследований получены аналитические выражения значений и параметров для определения полей напряжений процесса глубокой вытяжки деталей с использованием диффузионных медных покрытий на заготовках из коррозионностойких нержавеющей сталей. Полученные результаты могут быть использованы для проведения расчетов при разработке технологических процессов.

Ключевые слова: коррозионностойкая нержавеющая сталь, диффузия, покрытие, вытяжка, напряжения, интенсивность деформаций, удельное давление.

Введение. При разработке технологических процессов глубокой статико-динамической вытяжки деталей из коррозионностойких нержавеющей сталей (12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 1Х12Н10Т) с медным диффузионным покрытием без промежуточных термообработок, необходимо иметь аналитические выражения и специальные таблицы значений параметров максимальных напряжений и усилий, необходимых для осуществления операций штамповки с учетом всех основных особенностей, присущих данному процессу: наличие мягкого медного покрытия, многопереходность, анизотропия начальной листовой заготовки, неравномерность упрочнения полой заготовки и характерные стадии процесса.

Анализ последних исследований и литературы. Математический анализ процесса глубокой вытяжки основан на общих положениях теории пластической деформации и осуществляется путем совместного решения уравнений равновесия, уравнений пластичности, уравнений связи напряжений и деформаций (скоростей деформации), уравнений неразрывности деформаций и уравнений сплошности. Для отыскания произвольных постоянных интегрирования перечисленных уравнений, большинство которых задано в дифференциальной форме, используются граничные условия, зависящие от конкретных условий деформирования.

Решение этой громоздкой системы уравнений связано с большими математическими трудностями. Эти трудности осложняются еще и тем, что при пластических деформациях отсутствует линейная связь между напряжениями и деформациями, а граничные условия часто меняются в процессе деформирования. Сам же процесс является немонокотонным. Поэтому для решения задач обработки металлов давлением применяют следующие приближенные методы: 1) метод совместного решения приближенных уравнений равновесия с условием пластичности [1, 2]; 2) метод линий скольжения [3, 6, 12]; 3) метод сопротивления материалов пластическому деформированию [10]; 4) метод баланса работ (мощностей) [2], в том числе, с использованием экстремальных принципов механики сплошных сред [4]; 5) метод конечных элементов [1].

Детальный теоретический анализ метода совместного решения уравнений равновесия с условием пластичности дан Е.П. Унсковым [2]. Применительно к процессам листовой штамповки метод разработал Е.А. Попов [1]. Им же теоретически и экспериментально доказана достаточная точность метода, сущность которого заключается в следующем: 1) задачу сводят к осесимметричной или плоской; 2) распределение нормальных напряжений определяют только для контактной поверхности; 3) дифференциальные уравнения равновесия предельно упрощают.

© Е. А.Фролов, О. Г. Носенко, 2012

Следует отметить, что при решении задач, связанных с определением технологических усилий глубокой вытяжки, методом совместного решения уравнений равновесия с условием пластичности пользовались многие исследователи [1, 2, 4, 6–8].

В настоящее время не существует полных теоретических исследований напряженного состояния при глубокой вытяжке деталей из коррозионностойких сталей с мягкими диффузионными покрытиями заготовок.

Целью исследований является разработка методики учета основных факторов влияния на напряженное состояние при глубокой вытяжке деталей из коррозионностойких сталей с предварительно нанесенными на заготовки диффузионных мягких покрытий из расплавов солей.

Материалы исследований. К числу факторов, оказывающих наибольшее влияние на процесс многопереходной глубокой вытяжки, следует отнести контактное трение, упрочнение металла и анизотропию исходной листовой заготовки.

Процесс многопереходной глубокой вытяжки коррозионностойких нержавеющей сталей, склонных к интенсивному упрочнению, без промежуточной термообработки, с медным диффузионным покрытием и смазкой на поверхности заготовки, накладывает ряд особенностей по определению контактного трения и упрочнения. Кроме того, для более точного расчета поля напряжений необходимо учесть влияние анизотропии исходной листовой заготовки. Рассмотрим влияние отмеченных факторов в отдельности.

1. Учет влияния упрочнения

При вытяжке без промежуточных отжигов одним и наиболее важных является вопрос об учете упрочнения деформируемого металла при определении полей напряжений и усилий.

При свертке плоской заготовки в полое изделие различные точки фланца получают различное упрочнение, поскольку интенсивность деформаций является функцией координат.

Для плоской деформации (условно считаем толщину $t = const$).

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} |\varepsilon_\theta|, \quad (1)$$

где $\varepsilon_\theta = \ln(\rho/R)$ (см. рис. 1).

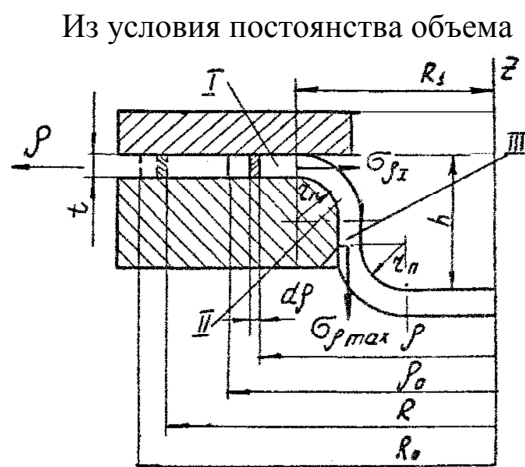


Рис. 1 – Схема первой операции глубокой вытяжки

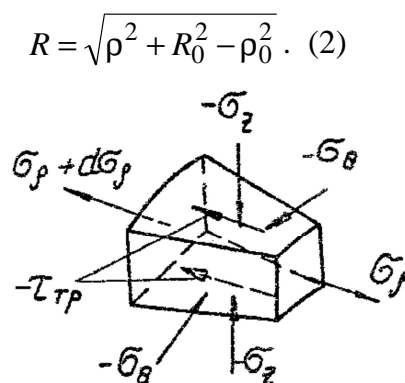


Рис. 2. – напряженное состояние элемента фланца в I - зоне очага деформации

Тогда

$$\varepsilon_{\theta} = \ln \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + R_0^2 - \rho_0^2}}. \quad (3)$$

После небольших преобразований получим окончательное выражение для интенсивности деформаций

$$\varepsilon_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| \ln \left(1 + \frac{R_0^2 - \rho_0^2}{\rho^2} \right) \right| \quad (4)$$

и интенсивности напряжений

$$\sigma_i = A \left[\frac{1}{\sqrt{3}} \left| \ln \left(1 + \frac{R_0^2 - \rho_0^2}{\rho^2} \right) \right| \right]^n, \quad (5)$$

где A и n – константы.

Для многопереходной вытяжки необходимо использовать истинную кривую упрочнения, которая для нержавеющей стали типа 12X18H10T достаточно полно аппроксимируется зависимостью [9]

$$\sigma_i = 1950 - 1513 \exp(-\varepsilon_i) - 197 \exp(-25\varepsilon_i), \text{ МПа.} \quad (6)$$

Среднее значение интенсивности напряжений σ_i по очагу деформации можно найти, подставив в формулу (6) вместо ε_i ее среднее значение

$$\varepsilon_{cp} = 0,5\varepsilon_i^{kp}. \quad (7)$$

Согласно рекомендации Г.А. Смирнова-Аляева [10] степень деформации сдвига рассчитывается по формуле

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d_1} + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{F}{F_1}, \quad (8)$$

где D , d_1 – диаметры заготовки и изделия;

F , F_1 – площади торцевой части заготовки и изделия.

Принимая во внимание, что на первом переходе коэффициент вытяжки $m_1 = d_1/D$, а также при постоянстве толщины металла $F/F_1 = 1/m_1$, получим

$$\lambda_1 = 1,58 \ln(1/m_1). \quad (9)$$

Процесс многопереходной глубокой вытяжки без промежуточных отжигов можно представить как процесс однопереходной вытяжки плоской заготовки с коэффициентом вытяжки, равным суммарному коэффициенту вытяжки $M_n = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$. В этом случае

$$\lambda_{\Sigma} = 1,58 \ln(1/M_n). \quad (10)$$

Тогда интенсивность деформации краевой части изделия

$$\varepsilon_{i_n}^{kp} = \frac{\lambda_{\Sigma}}{\sqrt{3}} = 0,914 \ln(1/M_n). \quad (11)$$

Значения $\varepsilon_{i_n}^{kp}$, вычисленные по формуле (11), не более чем на 8 % отличаются от

результатов, полученных экспериментально. Так, методом координатных сеток была определена интенсивность деформаций ϵ_i для изделий, полученных многопереходной вытяжкой из стали 12X18H10T за четыре операции без промежуточных отжигов. Сравнение значений ϵ_i , полученных по формуле (11), с результатами эксперимента показано в табл. 1.

Таблица 1. – Сравнение значений интенсивности деформаций краевой части изделий ϵ_i^{KP} с результатами эксперимента

№ операции	Суммарный коэффициент вытяжки	Расчетные данные $\epsilon_{i_n}^{KP} = 0,914 \ln(1/M_n)$	Экспериментальные данные	Погрешность, %
1	0,63	0,425	0,46	-7,59
2	0,50	0,635	0,64	-0,78
3	0,40	0,842	0,84	+0,24
4	0,32	1,043	1,10	-5,20

Таким образом, учитывая, что $M_n < 1$, можно принять

$$\epsilon_{cp_n} = 0,457 \ln(1/M_n). \quad (12)$$

Поставив (12) в (6), получим после небольших преобразований

$$\sigma_i = 1950 - 1513M_n^{0,457} - 197M_n^{11,4}, \text{ МПа.} \quad (13)$$

Поскольку третье слагаемое значительно меньше двух других, можно без большой погрешности считать

$$\sigma_i = 1950 - 1513M_n^{0,457}, \text{ МПа.} \quad (14)$$

Таким образом, в дальнейших расчетах среднее значение интенсивности напряжений (сопротивление деформированию) будем определять по формулам (5) и (14).

2. Учет влияния анизотропии

Как было отмечено в работе [11] анизотропия существенно влияет на процесс глубокой вытяжки листовых материалов и его силовые параметры, причем, в зависимости от напряженно-деформированного состояния и величине показателя анизотропии \bar{R} она может как способствовать, так и затруднять процесс пластического деформирования.

Точное решение задачи о напряженном состоянии фланца листовой анизотропной заготовки связано с большими математическими трудностями. Поэтому введем ряд допущений, которые будем использовать в дальнейшем при определении поля напряжений и усилий глубокой вытяжки [11]. Будем считать, что:

1) листовой металл является трансверсально-изотропным (анизотропия с круговой симметрией, причем ось симметрии перпендикулярна плоскости листа). В этом случае

$$R_\alpha = \bar{R} = \text{const}, \quad \bar{R} = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4; \quad (15)$$

2) толщина деформируемой заготовки в процессе вытяжки остается неизменной, т.е. $\epsilon_z = 0$.

3) окружные σ_θ и радиальные σ_ρ напряжения, действующие на бесконечно малый элемент (см. рис. 1) из узкого участка фланца, являются главными нормальными напряжениями;

4) влияние среднего главного напряжения при выводе условия пластичности не

учитываем;

5) зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$, связанные с главными осями анизотропии, не меняются при повороте главных осей и остаются постоянными в процессе деформирования.

Перечисленные допущения являются вполне приемлемыми при решении задач по определению энергосиловых параметров процесса глубокой вытяжки коррозионностойких сталей.

На основании условия пластичности для анизотропного материала [12] предложены зависимости для главных деформаций с учетом анизотропии

$$\begin{cases} \varepsilon_\rho = \mu \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} [c_{11}\sigma_\rho + c_{12}\sigma_\theta - (c_{11} + c_{12})\sigma_z] \\ \varepsilon_\theta = \mu \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} [c_{12}\sigma_\rho + c_{22}\sigma_\theta - (c_{22} + c_{12})\sigma_z] \\ \varepsilon_z = \mu \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} [-(c_{11} + c_{12})\sigma_\rho - (c_{22} + c_{12})\sigma_\theta + (c_{11} + c_{22} + 2c_{12})\sigma_z] \end{cases}, \quad (16)$$

где μ , c_{11} , c_{12} , ... – константы анизотропии.

$$c_{11} = 1 + \frac{1}{R_\rho}; c_{12} = -1; c_{22} = 1 + \frac{1}{R_\theta}; \mu = \frac{3}{2(1 + 1/R_\rho + 1/R_\theta)}, \quad (17)$$

а также для интенсивности напряжений

$$\sigma_i^2 = \mu \cdot [(c_{22} + c_{12}) \cdot (\sigma_\theta - \sigma_\rho)^2 + (c_{11} + c_{12}) \cdot (\sigma_z - \sigma_\rho)^2 - c_{12} \cdot (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]. \quad (18)$$

Из (16) при условии постоянства толщины заготовки ($\varepsilon_z = 0$) имеем

$$\sigma_z = \frac{(c_{11} + c_{12}) \cdot \sigma_\rho + (c_{22} + c_{12}) \cdot \sigma_\theta}{c_{11} + c_{22} + 2c_{12}}. \quad (19)$$

Подставив (19) в (18), получим после некоторых преобразований

$$\sigma_i^2 = \mu \left[\frac{(c_{11} + c_{12}) \cdot (c_{22} + c_{12})}{c_{11} + c_{22} + 2c_{12}} - c_{12} \right] (\sigma_\theta - \sigma_\rho)^2. \quad (20)$$

Учитывая, что для трансверсально-изотропного тела, показатели анизотропии в плоскости $\rho - \theta$ равны ($R_\theta = R_\rho = \bar{R}$), получим конечное выражение условия пластичности с учетом анизотропии:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_i \sqrt{\frac{4(\bar{R} + 2)}{3(2\bar{R} + 1)}}. \quad (21)$$

которым будем пользоваться при определении поля напряжений.

3. Учет сил контактного трения

В процессах глубокой вытяжки в подавляющем большинстве случаев закон трения принимают по Кулону [1, 4, 6 – 8]. Кроме того, силы трения считают приложенными к краевой части фланца и при определении полей напряжений учитывают их в граничных условиях.

Однако закон Кулона $\tau_{mp} = f \cdot p$, недостаточно точный для характеристики обычного трения в машинах, еще в меньшей степени пригоден для определения сил трения в условиях пластического деформирования [12]. Тем не менее, ввиду недостаточной изученности явления пластического трения, при анализе некоторых операций обработки металлов давлением, таких как глубокая вытяжка, законом Кулона приходится пользоваться в порядке допущения. При этом значения коэффициента трения f определяет для каждого конкретного условия деформирования. Универсального метода нахождения значений f в настоящее время не существует. Кроме того, значения f , принятые для условий трения в машинах, ни в какой мере не пригодны для определения сил контактного трения при пластическом деформировании [6].

Все перечисленное выше доказывает необходимость использования при расчете сил контактного трения универсальных опытных констант, справедливых для различных механических условий деформации. В связи с этим работы В.В. Соколовского, Е.И. Исаченкова, В.Л. Колмогорова, А.Н. Леванова и др. [3, 13, 14] по выявлению закономерностей пластического трения позволили записать напряжения трения как функцию, инвариантную механическим условиям деформации и виду процесса с достаточно полным учетом влияния основных факторов: нормальных напряжений, предела текучести деформируемого металла в приконтактном слое, состояния поверхности, типа смазки и др. [14].

В частности, на основании многочисленных опытных данных ими было установлено, что кривые зависимости относительных касательных напряжений τ/τ_{sk} от относительных контактных давлений p/σ_{sk} для металлов с существенно различными механическими свойствами имеет одинаковый характер. Благодаря этому удастся отдельно учитывать влияние состояния поверхности контакта, наличия подсмазочного покрытия и смазки, а также напряженно-деформированного состояния и механических свойств металла на величину сил трения.

В итоге значения контактных напряжений трения можно определить из выражения [14]

$$\tau_{mp} = k_n \cdot [1 - \exp(-1,25 p_{cp}/\sigma_{sk})] \cdot \tau_{sk} \quad (22)$$

где p_{cp} – среднее по очагу деформации контактное давление; k_n – константа поверхности, зависит от материалов заготовки и инструмента, чистоты обработки и вида технологической смазки (значение k_n определяется опытным путем); σ_{sk} , τ_{sk} – пределы текучести приконтактного слоя, причем по условию текучести $\tau_{sk} = \sigma_{sk}/\sqrt{3}$.

Предел текучести приконтактного слоя можно определять в виде полусуммы усредненного по объему очага деформации предела текучести σ_{sv} и предела упрочнения тонкого поверхностного слоя, равного пределу упрочнения данного материала σ_{nped} [14]

$$\sigma_{sk} = (\sigma_{sv} + \sigma_{nped})/2 \quad (23)$$

Чтобы конкретно применить формулу (22) для расчета сил трения при глубокой вытяжке с мягкими покрытиями, рассмотрим основные зоны очага деформаций на первом и последующем переходах.

1. Зоны фланца (см. рис. 1) и цилиндрического участка матрицы. При вытяжке с прижимом тонколистового металла, на поверхность которого нанесен слой мягкого покрытия, удельное усилие прижима q можно принять $q = p_{cp} = const$. Значение σ_{sv} бу-

дет равно среднему по очагу деформации значению интенсивности напряжений (первый переход).

$$\sigma_{sv} = A \cdot \varepsilon_{i_{cp}}^n, \text{ МПа.} \quad (24)$$

Подставив (24) в (23) с учетом (12) и приняв во внимание что для коррозионно-стойких сталей типа 12X18H10T константы упрочнения равны $A = 1576$, $n = 0,52$, получим

$$\sigma_{sk} = 525 \cdot [\ln(1/m_1)]^{0,52} + 0,5 \cdot \sigma_{пред}, \text{ МПа.} \quad (25)$$

Для конического участка матрицы на последующих переходах многооперационной вытяжки без промежуточных отжигов средняя величина предела текучести определится из выражения (14). Тогда

$$\sigma_{sk} = 975 - 756,5 \cdot M_n^{0,475} + 0,5 \cdot \sigma_{пред}, \text{ МПа.} \quad (26)$$

Значение $\sigma_{пред}$ можно найти по кривым упрочнения [3, 5].

В итоге удельные силы трения выразятся уравнением

$$\tau_{mp} = 0,58k_n \cdot \sigma_{sk} \cdot [1 - \exp(-1,25q/\sigma_{sk})]. \quad (27)$$

2. Зона тороидального участка матрицы (рис. 3). Анализ эпюр распределения контактных давлений на скругленном участке матрицы, полученных в работе [4] дает основание принять

$$p_{cp} \approx \frac{2}{3} p_{max}. \quad (28)$$

В свою очередь, максимальное значение удельного давления на поверхности контакта определится формулой [13]

$$p_{max} = \sqrt{2} \frac{k \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot (r_M + 0,5 \cdot t)}{n(r_M + 0,364 \cdot n \cdot t)}. \quad (29)$$

где n – относительный радиус округления кромки матрицы $n = r_M/t$;

k – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения давлений (для нержавеющей сталей $k = 1,8$).

После небольших преобразований получим

$$p_{cp} = \frac{1,24 \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot t}{r_M^2} \cdot (r_M + 0,5 \cdot t). \quad (30)$$

Тогда удельные силы трения на тороидальных участках очага деформации могут быть рассчитаны по формуле

$$\tau_{mp} = 0,58k_n \sigma_{sk} \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{1,55 \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot t \cdot (r_M + 0,5 \cdot t)}{r_M^2 \cdot \sigma_{sk}} \right] \right\}. \quad (31)$$

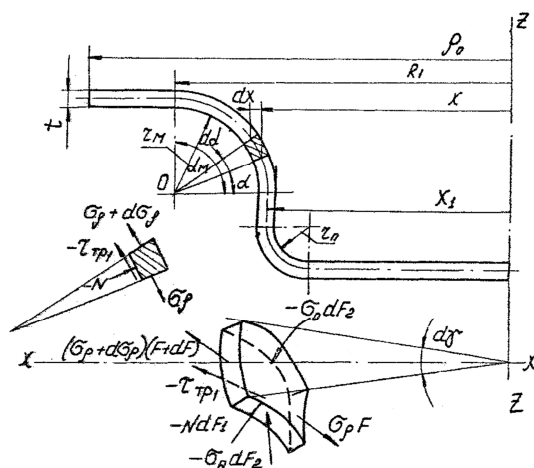


Рис. 3 – Напряжённое состояние, в зоне скруглённой кромки матрицы на первой и последующих операциях глубокой вытяжки

Для удобства дальнейших расчетов основные составляющие удельных сил контактного трения в различных зонах очага деформации сведены в табл. 2. Для определения константы поверхности k_n необходимо пользоваться опытными данными, приведенными в работе [14].

Таблица 2. – Определение основных параметров для расчета удельных сил контактного трения $\tau_{mp} = 0,58k_n \cdot \sigma_{sk} \cdot [1 - \exp(-1,25 p_{cp} / \sigma_{sk})]$ в различных зонах очага деформации

Операции	Зона очага деформации	Среднее удельное давление	Предел текучести в при- контактном слое	Предел упрочнения $\sigma_{пред}$, МПа
первая	Фланец	q	$525 \cdot \left(\ln \frac{1}{m_1} \right)^{0,52} + 0,5\sigma_{пред}$	1400 – вытяжка без покрытия
	Тороидальный участок	$\frac{1,24 \cdot \sigma_{\sigma} \cdot t}{r_m^2} (r_m + 0,5t)$		
последующие	Конический участок	q	$975 - 756,5M_n^{0,457} + 0,5\sigma_{пред}$	360 – вытяжка с медным покрытием
	Тороидальный участок	$\frac{1,24 \cdot \sigma_{\sigma} \cdot t}{r_m^2} (r_m + 0,5t)$		

Выводы. Таким образом, в настоящем исследовании задача по определению полей напряжений и энергосиловых параметров процесса глубокой вытяжки деталей с использованием диффузионных мягких покрытий заготовок из коррозионноустойчивых нержавеющей сталей без промежуточных отжигов решается при условии постоянства удельных сил контактного трения на всех участках очага деформации. Силы трения: на прямолинейных участках очага деформации (фланец, конический участок) – τ_{mp} и на тороидальных участках τ_{mp1} , определяются соответственно из равенств (27) и (31).

Список литературы: 1. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки [Текст]: 2-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с. 2. Унксов, Е.П. Инженерная теория пластичности. Методы расчета усилий деформирования [Текст] / Е.П. Унксов. – М.: Машгиз, 1959. – 328 с. 3. Соколовский, В.В. Теория пластичности [Текст] / В.В. Соколовский. – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с. 4. Норицын, И.А. Теоретический анализ процесса вытяжки листового материала [Текст] / И.А. Норицын // Изв. АН СССР, ОТН, 1951, – № 11. – с. 1696 – 1703. 5. Сторожев, М.В. Теория обра-

ботки металлов давлением [Текст]: 4-е изд., перераб. и доп. / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с. **6.** Шофман, Л.А. Теория и расчет процессов холодной штамповки [Текст] / Л.А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1964. – 375 с. **7.** Валиев, С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов [Текст] / С.А. Валиев. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с. **8.** Поуп, Бэрри. Расчет усилий глубокой вытяжки при повышенных температурах и различных условиях трения. – Пер. с англ. – Конструирование и технология машиностроения, 1973, № 3. – С. 234 – 244. **9.** Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами: монография [Текст] / Е.А. Фролов, А.Я. Мовшиович, И.В. Манаенков и др. – Харьков: УкрГАЗТ, – Краматорск: ДГМА. Изд. Центр НТУ «ХПІ», 2010. – 286 с. **10.** Смирнов-Аляев, Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию [Текст] / Г.А. Смирнов-Аляев. – М.–Л.: Машгиз, 1961. – 463 с. **11.** Чань Кобаяси. Влияние анизотропии и параметров упрочнения на распределение напряжений и деформаций при глубокой вытяжке [Текст]: пер. с англ. / Чань Кобаяси // Конструирование и технология машиностроения. – № 4. – 1966. – С. 117 – 123. **12.** Павлов, И.М. Физические условия пластической деформации в аспекте некоторых общих соотношений движения и трения [Текст] / И.М. Павлов. // – Изв. АН СССР. Металлы, 1965, № 3. – С. 1245 – 1253. **13.** Исаченков, Е.И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением [Текст] / Е.И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с. **14.** Контактное трение в процессах обработки металлов давлением [Текст] / А.Н. Леванов, В.Л. Колмгоров, С.П. Буркин и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 416 с.

Надійшла до редколегії 10.10.2012

УДК 621.983.044

Теоретические исследования напряженного состояния при глубокой вытяжке деталей из коррозионноустойчивых сталей с диффузионным покрытием / Фролов Е. А., Носенко О. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 46(952). – С. 123-131. – Бібліогр. 14 назв.

У статті на підставі проведених теоретичних досліджень отримано аналітичні вирази значень та параметрів для визначення полів напружень процесу глибокої витяжки деталей з використанням дифузійних мідних покриттів на заготовки з корозійностійких нержавіючих сталей. Отримані результати можуть бути використані для проведення розрахунків при розробці технологічних процесів.

Ключові слова: корозійностійка нержавіюча сталь, дифузія, покриття витяжка, напруження, інтенсивність деформацій, питомий тиск.

In the article based on the presented theoretical research the value and parameters analytical forms for calculation of stress fields for the process of parts deep drawing with the usage of diffusive copper coatings for blank parts made of corrosion-proof stainless steels are obtained. The obtained results can be used for calculations during development of manufacturing processes.

Keywords: corrosion-proof stainless steel, diffusion, coating, deep drawing, tensions, strain intensity, specific pressure.

УДК 621.778.5

В. А. ХАРИТОНОВ, канд. техн. наук, проф., МГТУ, Магнітогорск

М. В. ЗАРЕЦКИЙ, доц., МГТУ, Магнітогорск

Л. М. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук, директор ООО «АрМон», Магнітогорск

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРЕФОРМАЦИИ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В НЕПОЛНОМ СЛОЕ ПОВИВА КАНАТА

Сформулирована проблема предельной скорости деформации при интенсивной преформации проволок, требующих точного позиционирования. Выработана методика расчета скорости деформации, предложено с учетом дополнительных факторов инженерное решение, гарантирующее достижимость положительного решения.

Ключевые слова: арматурный канат, свивка, интенсивность деформации, предельная скорость деформации, деформационный нагрев, двухэтапная преформация.

Вступление. В предшествующих работах [1, 2] нами рассматривалась задача предварительной деформации (преформации) проволок при изготовлении нового продукта – трехгранного пластически обжатого арматурного каната конструкции 1+6+3 с периодическим профилем поверхности проволок.

© Харитонов В. А., Зарецкий М. В., Зарецкий Л. М., 2012