

УДК 621.73

Плеснецов Ю. А.

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ПРИ ФОРМОВКЕ РИФЛЕНИЙ

Выявленные [1–5] технологические решения по разработке технологии формовки деформационно упрочненных профилей и профилей с поверхностью противоскольжения направлены на совершенствование процессов производства специальных гнутых профилей и не содержат информацию по анализу формоизменения листового металла в очаге деформации при формовке рифлений, что необходимо для создания изделий с качественно новыми потребительскими свойствами.

Работа направлена на создание теоретических основ технологических процессов производства специальных гнутых профилей, упрочненных рифлениями, а также профилей с поверхностью противоскольжения, что важно и актуально для обеспечения ресурсосбережения и энергоэффективности промышленного производства Украины.

Цель работы – теоретический анализ параметров валковой формовки рифлений на листовом металле для научно-обоснованной организации производства новых видов деформационно упрочненных профилей.

Для анализа формоизменения металла в связи с незначительной высотой формуемых гофров, приняты следующие допущения: деформации растяжения в очаге имеют место на участке, не превышающем ширину гофра; напряжения и деформации связаны по линейному закону; валки изгибаются по дуге постоянной кривизны.

Для теоретического анализа процесса валковой формовки рифлений на первом технологическом переходе (формовке рифлений) использован принцип энергетического равновесия работы деформирования и жесткости клетки:

$$\Phi = \frac{1}{2} G(H_1 - H)^2 + A_{ДЕФ}(H) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где G – жесткость клетки; H – высота формуемых гофров; H_1 – высота гофра по калибру валка; $A_{ДЕФ}(H)$ – работа деформации при вытяжке гофров.

Задача нахождения фактической высоты гофров решалась минимизацией функционала полной потенциальной энергии:

$$\Phi_1 = A_{ДЕФ}(H) - PH \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\Phi_2 = 2 \int_{\nu} A_{ПР}(\Delta H) dV + \sum_{i=1}^n A_{ДЕФ}(H - 2\Delta H_i) + \frac{1}{2} G(H_2 - H)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где n – число формуемых рифлений; V – объем валка; ΔH_i – прогибы валков при формовке рифлений; $A_{ПР}(\Delta H)$ – работа прогиба валка, зависящая от его ширины; H – высота крайних формуемых рифлений.

Варьируя параметры H , l и разбивая очаг деформации на конечные элементы, определяли значение деформаций растяжения в указанной выше области.

Для исследования процессов осадки отформованных рифлений использовали принцип минимума полной потенциальной энергии:

$$\Phi_3 = A_{ВНУТР} - A_{ВНЕШН} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $A_{ВНУТР}$ – работа внутренних сил (работа деформирования);

$A_{ВНЕШН}$ – работа внешних сил.

Компоненты напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при вытяжке рифлений определяли по зависимостям:

$$e_1 = \frac{\sqrt{b_x + H_x^2}}{\frac{b_x}{2l}}; \quad e_2 = \frac{\sqrt{x^2 + H_x^2} - x}{x}, \quad (5)$$

где H_x, b_x – параметры диагоналей на расстоянии x от границы очага деформации; b – ширина рифления; l – длина очага деформации.

Очевидные преобразования и упрощения позволяют привести зависимости (5) к виду:

$$e_1 = \frac{2H^2}{b^2}; \quad e_2 = \frac{H^2}{2l^2}, \quad (6)$$

где H – высота рифления.

Линеаризуя упрочнение деформируемого металла, связь напряжений с деформациями представим в виде:

$$\sigma_1 = \sigma_T + \Pi \frac{2H^2}{b^2}; \quad \sigma_2 = \sigma_T + \Pi \frac{H^2}{2l^2}, \quad (7)$$

где Π – модуль упрочнения; σ_T – предел текучести.

Работа деформации для исследуемого процесса определяли по зависимости:

$$A_{деф} = (\sigma_1 e_1 + \sigma_2 e_2) S l \frac{b}{4}, \quad (8)$$

где S – толщина металла.

С учетом (8) выражение (1) принимает вид:

$$\Phi = \frac{1}{2} G (H_1 - H)^2 + \left(\sigma_1 \frac{2H^2}{b^2} + \sigma_2 \frac{H^2}{2l^2} \right) S l \frac{b}{4}. \quad (9)$$

Дифференцируя (9) по l и приравнявая производную к нулю, получаем:

$$\frac{2\sigma_1}{b^2} - \frac{\sigma_2}{2l^2} = 0. \quad (10)$$

Из (10) находим выражение для определения длины очага деформации:

$$l = \frac{b}{2} \sqrt{\frac{\sigma_2}{\sigma_1}}. \quad (11)$$

С учетом зависимостей (7) выражение (9) для n гофров принимает вид:

$$\Phi = \frac{1}{2} G (H_1 - H)^2 + 2nH^2 l S \frac{b}{4} \left[\frac{\sigma_T + \Pi \frac{2H^2}{b^2}}{b^2} + \frac{\sigma_T + \Pi \frac{H^2}{2l^2}}{4l^2} \right] \rightarrow \min. \quad (12)$$

В выражении (12) варьируемыми параметрами являются l и H . Для их нахождения, с использованием ПК по методу конечных элементов выполнен анализ формоизменения металла в очаге деформации.

Для получения точных профилей необходимо учитывать жесткость клетки и прогиб валков. С целью определения фактической высоты формируемых гофров с использованием ПК минимизировали функционал (2) по l и H :

$$\Phi_1 = 2nH^2lS \frac{b}{4} \left[\frac{\sigma_T + \Pi \frac{2H^2}{b^2}}{b^2} + \frac{\sigma_T + \Pi \frac{H^2}{2l^2}}{4l^2} \right] - PH \rightarrow \min. \quad (13)$$

Для поиска минимума функционала (3) определяли составляющие его компоненты:

$$A_{ПП}(\Delta H) = 2 \int_0^b \int_0^{ab} \int_0^{ab/2} E \varepsilon^2 dy dx dz, \quad (14)$$

где B – длина бочки вала; d_B – диаметр вала; E – модуль упругости; ε – деформации по высоте вала.

Для линейного распределения деформаций по высоте вала справедливо:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \left(1 - \frac{2y}{d_B}\right), \quad (15)$$

где ε_{\max} – величина максимальной деформации вала, определяемая по зависимости:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{d_B}{2R_1}, \quad (16)$$

где R_1 – радиус изгиба вала.

Радиус изгиба вала определяем как функцию стрелы его прогиба (Δh) и длины бочки (B):

$$R_1 = \frac{B^2}{8\Delta h}. \quad (17)$$

С учетом (15–17), выражение (14) принимает вид:

$$A_{ПП} = \frac{16Ed_B^4\Delta h^2}{3B^3}. \quad (18)$$

В конечном виде выражение (3) с учетом (18) можно выразить следующей зависимостью:

$$\Phi = \frac{16Ed_B^4\Delta h^2}{3B^3} + \frac{1}{2}G(H_2 - H)^2 + 2 \sum_{i=1}^{nh} 2S \frac{l}{4} \left[\left(\sigma_T + \Pi \frac{(H - \Delta h_i)^2}{B^2} \right) \cdot \frac{(H - \Delta h_i)^2}{B^2} + \left(\sigma_T + \Pi \frac{(H - \Delta h_i)^2}{B^2} \right) \cdot \frac{(H - \Delta h)^2}{B^2} \right] \rightarrow \min, \quad (19)$$

где Δh_i – значение стрелы прогиба в расчетном сечении, определяемое по зависимости:

$$\Delta h_i = \frac{2Z_i}{B} \Delta h. \quad (20)$$

Расчеты, проведенные по полученным зависимостям, позволили получить значения энергосиловых и технологических параметров исследуемого процесса. Численные значения параметров приведены в табл. 1.

Компоненты, входящие в функционал (4), определяли следующим образом:

а) объем деформируемого металла – по зависимости:

$$V = 2Sl \sqrt{\frac{b^2}{4} + H_2^2}; \quad (21)$$

б) интенсивность деформаций – по известным зависимостям:

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2}, \quad (22)$$

где

$$e_x = \frac{\sqrt{H^2 + \frac{b^2}{4}} - \sqrt{H_2^2 + \frac{b^2}{4}}}{\sqrt{H_2^2 + \frac{b^2}{4}}};$$

$$e_y = \frac{l - \sqrt{(H_2 - H)^2 + l^2}}{l} - \frac{\sqrt{H_2^2 + \frac{b^2}{4}} - \sqrt{H^2 + \frac{b^2}{4}}}{\sqrt{H_2^2 - \frac{b^2}{4}}};$$

$$e_z = \frac{\sqrt{(H_2 - H)^2 + l^2} - l}{l}.$$

Таблица 1

Расчетные значения параметров формовки рифлений шириной 20 мм, высотой 5 мм из заготовки толщиной 2,5 мм

Наименование параметра	Единицы измерения	Расчетное значение параметра
Длина очага деформации	мм	27,00
Работа деформации	мм	30,82
Жесткость клетки	Н/мм	360000
Пружина клетки	мм	0,9
Фактическая высота рифления	мм	4,1

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа напряженно-деформированного состояния металла при формовке рифлений в работе получены зависимости, позволяющие определять параметры очага деформации и работу деформации для технологического процесса валковой формовки рифлений.

2. С учетом пружины клетки и изгиба валков установлено, что реальная высота формируемых рифлений на 11 % меньше высоты формирующего элемента валка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плеснецов Ю. А. Новая технология валковой формовки упрочненных листовых профилей с поверхностью противоскольжения / Ю. А. Плеснецов // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2004. – № 47. – С. 17–19.
2. Плеснецов Ю. А. Новая технология валковой формовки специальных деформационно упрочненных гнутых профилей с поверхностью противоскольжения для строительства / Ю. А. Плеснецов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 6 (12). – С. 71–72.
3. Плеснецов Ю. А. Разработка сортамента и технологии производства специальных гнутых профилей с деформационно упрочненной поверхностью противоскольжения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2007. – № 12. – С. 13–18.
4. Плеснецов Ю. А. Исследование параметров деформационного упрочнения и прочностных характеристик гнутых профилей / Ю. А. Плеснецов // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2009. – № 32. – С. 126–133.
5. Плеснецов Ю. А. Исследование влияния размеров рифлений на изменение геометрических характеристик сечения / Ю. А. Плеснецов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/1 (15). – С. 43–45.

Плеснецов Ю. А. – канд. техн. наук, зав. кафедрой НТУ «ХПИ».

НТУ «ХПИ» – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков.

E-mail: pls_roll@mail.ru