

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

---

УДК 621.771.25.04.001.5

С.М. ЖУЧКОВ, д-р техн. наук, А.П. ЛОХМАТОВ, канд. техн. наук,  
К.Ю. КЛЮЧНИКОВ, И.В. СИКАЧИНА (ИЧМ НАН Украины)

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ШАГА АППРОКСИМАЦИИ КОНТУРА ГОТОВОГО ХОЛОДНОКАЛИБРОВАННОГО ПРОФИЛЯ ПРИ МАШИННОМ РАСЧЕТЕ МАРШРУТА ПЕРЕХОДОВ

При разработке калибровок процессов волочения, прессования, прокатки и прокатки-волочения (прокатки-прессования) необходимо учитывать большое число факторов, многие из которых недостаточно определены. К числу таких факторов относятся условия контактного трения и механические свойства деформируемого металла.

К наиболее определенным из технологических факторов относятся кинематические граничные условия деформирования, которые задаются геометрией инструмента и заготовки. Для сохранения целостности деформируемого металла и обеспечения заданной точности готового профиля при холодной деформации необходимо обеспечивать максимальное приближение распределения деформаций по периметру сечения профиля к равномерному. Поэтому для автоматизированного проектирования процессов прокатки-волочения целесообразно использовать кинематические аналоги условий пластического равновесия металла во всех точках очага деформации.

В процессах волочения, прессования, а также прокатки-волочения (прокатки-прессования) условия деформации существенно отличаются от условий пластического равновесия при осадке между параллельными плитами призматических и цилиндрических тел [1]. Пластическое течение деформируемого металла в этих процессах в значительной мере определяется геометрическими параметрами поверхностей инструмента. Могут быть предложены другие аналоги условий пластического равновесия:

1) условие максимума осевых скоростей течения в точках профиля, равноудаленных от его контура;

2) условие ортогональности скоростей течения к контуру профиля.

В работе [2] показано, что оба этих условия пластического равновесия базируются на наличии в плоскости сечения контура профиля на выходе из очага деформации геометрических мест точек, в которых осевые скорости (в направлении волочения, прессования или прокатки) максимальны, а следовательно, течение металла в их направлениях облегчено. Нормали, проведенные из этих точек на линии контура, являются линиями естественного течения металла при деформации в заданных условиях. Такими геометрическими местами указанных специфических точек являются линии скелета контура сечения профиля (рис. 1).

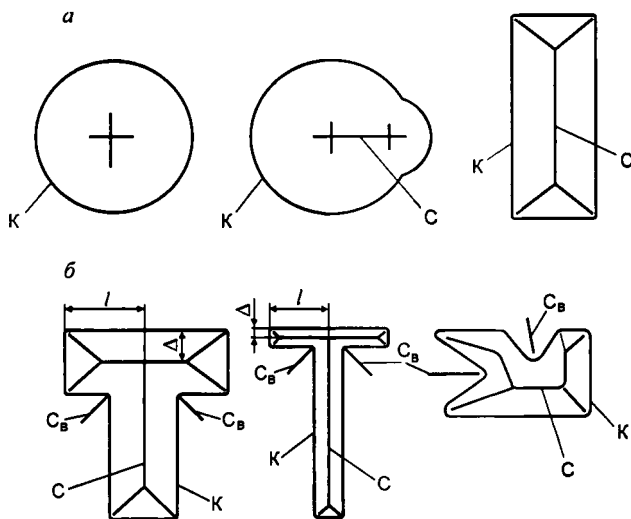


Рис. 1. Внутренние и внешние скелеты контура сечения профиля:

*a* – контуры с внутренним скелетом сечения профиля; *б* – контуры с внутренним и внешним скелетом сечения профиля; К – контур сечения профиля; С,  $C_{в}$  – внутренний и внешний скелеты сечения профиля соответственно

Необходимость использования в системе классификации плоских геометрических объектов свойств скелета контура сечения профиля при автоматизированных расчетах калибровок объясняется тем, что ни один из ранее использовавшихся параметров односвязного контура (площадь, периметр, периметр и площадь равновеликого круга, отношение периметра к периметру равновеликого круга) отдельно или в их совокупности не позволяет однозначно охарактеризовать контур профиля. Только скелет сечения профиля однозначно характеризует его контур. Любое изменение контура приводит к резкому изменению как длины, так и общей формы скелета. Таким образом, внутренний и внешний скелеты контура, однозначно характеризующие его особенности, могут быть приняты за основу в системе классификации плоских геометрических фигур при автоматизированном расчете калибровок переходов при волочении, прессовании, прокатке и прокатке-волочении (прокатке-прессовании) профилей в холодном состоянии.

При проектировании калибровки переходов прокатки-волочения, как и других процессов деформации, рассматривается превращение контура  $f(x, y) = 0$  в контур  $\varphi(x, y) = 0$ . Точностью построения любого переходного сечения определяется качество калибровки в целом.

Для определения параметров формоизменения при производстве плющеной ленты методом прокатки-волочения с использованием математической модели, представленной в работе [2], и выполнения расчетов гладкий контур сечения профиля аппроксимируется многогранником с расстоянием между вершинами  $\Delta P$  (рис. 2).

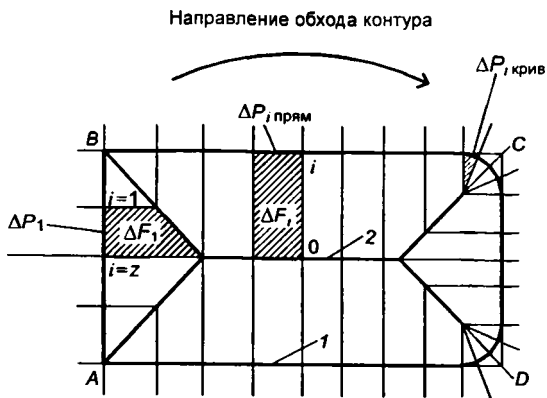


Рис. 2. Схема к определению шага аппроксимации контура сечения готового профиля многогранником:

1 – контур сечения готового профиля; 2 – скелет контура готового профиля;  $\Delta P_{i, \text{прям}}$  – шаг аппроксимации прямой части контура готового профиля;  $\Delta P_{i, \text{крив}}$  – шаг аппроксимации криволинейной части контура готового профиля;  $\Delta F_i$  – площадь участка сечения между гранью, соответствующей шагу аппроксимации, и линией скелета контура

Величина  $\Delta P$  определяется делением длины участка прямой, составляющей часть периметра контура, на целое число  $z$ , соответствующее числу вершин на данном участке контура:

$$z = l / \Delta P,$$

где  $l$  – длина отрезка контура;  $z$  – число вершин. При  $z = 0$  вершина одна.

Участки окружностей аппроксимируются хордами с соблюдением тех же условий кратности целому числу участков  $\Delta P$ .

Шаг аппроксимации в обоих случаях (отрезки прямых и окружностей) выбирается таким, чтобы обеспечить требования, предъявляемые к точности геометрических параметров контура.

Количество и величина граней во многом определяются формой и размерами сечения профиля. При этом каждый участок контура должен иметь целое число граней.

При определении сечения исходной заготовки и количества переходов для получения из нее готового профиля с соблюдением условия максимального приближения распределения деформации во всех точках контура к равномерному используются последовательности, из которых выбираются минимальные или максимальные значения:  $\{y_i\}$  – численная характеристика элемента контура с номером вершины  $i$ ;  $\{\delta_i\}$  – оптимальное единичное линейное обжатие в точке контура  $i$ ;  $\{n_i\}$  и  $\{m_i\}$  – число переходов для каждой вершины контура  $i$ .

Учитывая изложенное, можно предположить, что состав указанных последовательностей будет зависеть от принимаемой величины шага аппроксимации контура профиля многогранником, а следовательно, от шага аппроксимации будет зависеть и результат поиска размера сечения

исходной заготовки, и количество переходов для получения из нее готового профиля.

Рекомендации по выбору шага аппроксимации, приведенные в работе [2], получены из условия обеспечения требований, предъявляемых к точности геометрических параметров контура профиля.

Нами была поставлена задача установить пределы изменения шага аппроксимации при производстве плюшевой ленты размерами сечения  $4,00 \times 0,70$  мм из стали У8А исходя из необходимости получения заданного профиля из заготовки минимально возможного сечения и за минимальное количество переходов. С этой целью выполнены аналитические исследования влияния величины шага аппроксимации контура сечения профиля на изменение сечения исходной заготовки и количество переходов в интервалах изменения отношений:

$$10 \leq P_{\text{проф}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 100; \quad 0,1 \leq \Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 1,00,$$

где  $P_{\text{проф}}$  — периметр профиля;  $\Delta P_{\text{прям}}$ ,  $\Delta P_{\text{крив}}$  — величина грани (расстояние между вершинами многогранника) на прямолинейных и криволинейных участках контура профиля.

Результаты моделирования для условий получения плюшевой ленты размерами сечения  $4,00 \times 0,70$  мм из стали У8А представлены на рис. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что величина шага аппроксимации прямых участков контура сечения профиля в рассмотренном интервале отношений  $\Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}}$  не оказывает существенного влияния на количество переходов и соответственно на величину сечения исходной заготовки.

В то же время изменение отношения величины шага аппроксимации криволинейных участков к величине шага аппроксимации прямолинейных участков, т. е. заданная точность аппроксимации криволинейных участков, влияет на количество переходов. Последнее особенно чувствительно к из-

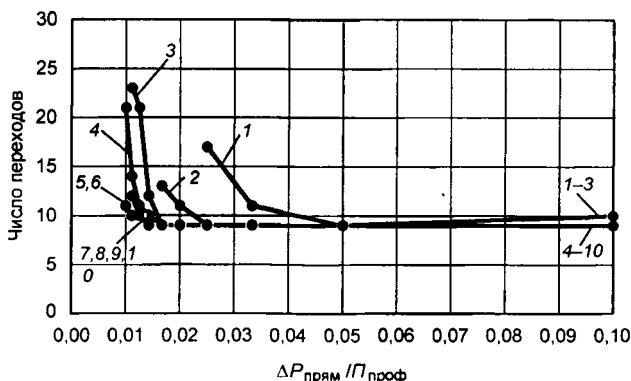


Рис. 3. Зависимость количества переходов от шага аппроксимации контура сечения профиля многогранником:

1 —  $\Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} = 0,1$ ; 2 — 0,2; 3 — 0,3; 4 — 0,4; 5 — 0,5; 6 — 0,6; 7 — 0,7; 8 — 0,8; 9 — 0,9; 10 —  $\Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} = 1,0$

менению  $\Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}}$  при отношении шага аппроксимации прямых участков к периметру сечения в интервале  $0,015 \geq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \geq 0,000$ , а для  $0,1 \leq \Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 0,2$  этот интервал расширяется до величины  $0,035 \geq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \geq 0,000$ . Количество переходов в этом случае резко возрастает (до 100 и более).

Таким образом, наиболее рациональными условиями аппроксимации гладкого контура поперечного сечения профиля многогранником при производстве плюшенной ленты размерами сечения  $4,00 \times 0,70$  мм из стали У8А можно считать  $0,02 \leq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \leq 0,05$  при  $0,20 \leq \Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 1,00$ . Указанные условия могут быть использованы и для других аналогичных профилей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Калибрование фасонных профилей / В.Н. Аргунов, М.З. Ерманок, А.И. Петров, М.В. Харитонович. М.: Металлургия, 1989. 208 с.

УДК 621.983.4

И.М.ШИМАНОВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ)

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА ВЕЛИЧИНУ НЕЙТРАЛЬНЫХ УГЛОВ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ

Ротационная вытяжка в шариковых матрицах (матрицах, у которых в качестве деформирующего инструмента используются заключенные в обойму шары) представляет собой пластическое формоизменение материала заготовки, находящейся на вращающейся оправке, при значительном обжатии стенки заготовки и ее удлинении в продольном направлении. Течение металла относительно направления продольной подачи деформирующего инструмента определяет способ ротационной вытяжки – прямой (удлинение в направлении продольного перемещения деформирующего инструмента) или обратный (течение металла происходит в направлении, противоположном движению инструмента).

В процессе ротационной вытяжки шариковыми матрицами деформирующие шары обычно приводятся во вращение от обрабатываемой заготовки. В работе [1] представлены зависимости для определения величины нейтральных углов, соответствующих нейтральным точкам, в которых задается скорость вращения шаров (в этих точках скорость движения металла равна скорости вращения деформирующих тел качения). В случае прямой ротационной вытяжки