

УДК 621.77

Матвийчук В. А.

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК ХОЛОДНОЙ ТОРЦОВОЙ РАСКАТКОЙ

Холодная торцовая раскатка (ХТР) представляет собой метод локального ротационного пластического деформирования вращающейся заготовки в торец коническим или цилиндрическим валком. Данный метод позволяет получать точные заготовки типа профилированных колец, втулок с внешними и внутренними буртами, фланцев, переходов заготовок под вытяжку.

Метод ХТР можно осуществлять с использованием технологических схем: высадки наружных и внутренних буртов на трубных заготовках; обжатия, раздачи и отбортовки трубных заготовок; осадки; прямого и обратного выдавливания; переформовки и профилирования; чеканки и калибровки; комбинированных схем формоизменения заготовок. Выбор технологической схемы обуславливается, в первую очередь, формой и размерами изделия, и реализуется путём подбора формы матрицы, вала, заготовки и их взаимного расположения [1].

Величина единичного обжатия определяется необходимой степенью деформации, силовыми параметрами оборудования, размерами заготовки и механическими характеристиками её материала и может изменяться от 1–3 мм/об на начальной стадии деформирования, до 0,05–0,1 мм/об на стадии калибровки. Окончательное деформирование детали происходит, в большинстве случаев, за 10–20 оборотов или на протяжении 5–10 сек. Точность размеров заготовки после раскатки зависит от технологической схемы, точности размеров инструмента и его настройки. В большинстве технологических процессов раскатки обеспечивается точность обработки по 8–11 качеству.

Шероховатость поверхности изделия после раскатки зависит от технологической схемы, шероховатости инструмента и качества смазки. При формировании валком полостей и отверстий, на шероховатость поверхности оказывает неблагоприятное воздействие недостаточная жёсткость инструмента и малый радиус округления между рабочими поверхностями вала. При использовании инструмента с высоким качеством рабочих поверхностей, достижимая шероховатость поверхностей изделий составляет $R_a = 5 \dots 0,6$ мкм.

Исходными заготовками для ХТР являются штучные заготовки из труб и прутков, штампованные заготовки и кольца, полученные гибкой полос или прутков с последующей сваркой, мерные заготовки из листов или полос. Материал заготовок – стали, сплавы и цветные металлы.

Основными факторами, ограничивающими технологические возможности процесса ХТР, являются разрушение материала, искривление и складкообразование заготовок, а для ряда технологических схем прямого и обратного выдавливания, также стойкость инструментальной оснастки. В настоящее время получили достаточное развитие методы оценки деформируемости и пути управления деформируемостью и направлением течения материала заготовок в процессах ХТР [1]. Вместе с тем, в литературе практически отсутствуют методики обоснованного выбора технологических схем и разработки параметров процесса ХТР для рационального изготовления необходимых изделий.

Целью данной работы является разработка подхода к обоснованию выбора технологических схем и параметров производства сложнопрофилированных кольцевых изделий торцовой раскаткой.

При выборе технологических схем для изготовления изделий определенной формы из трубной заготовки необходимо учитывать, что на характер течения материала заготовки существенно влияют активные силы трения, обусловленные смещением вала по отношению к заготовке в плоскости раскатки, а также углом наклона оси вала (рис. 1).

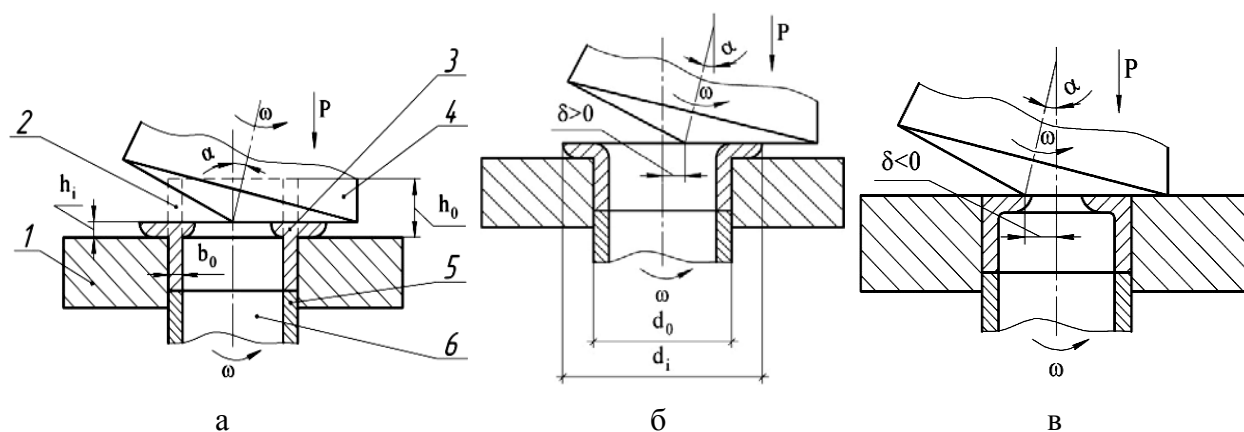


Рис. 1. Схемы высадки раскаткой коническим валком буртов (а – наружных и внутренних; б – наружных; в – внутренних):

1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – изделие; 4 – валок; 5 – выталкиватель; 6 – оправка

Зависимость угла φ между векторами скорости точек контактной поверхности заготовки и конического валка от направления и величины смещения валка δ , при разных углах наклона его оси α , представлена на рис. 2.

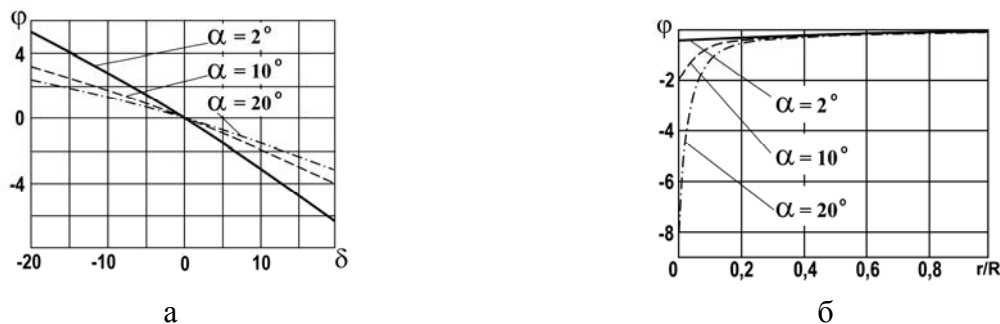


Рис. 2. Зависимость угла φ от направления и величины смещения валка δ (а) и радиуса заготовки r/R (б) при разных углах наклона валка

На рис. 3. показан характерный вид сечений наружных буртов, раскатанных при различных положениях валка в плоскости раскатки: а) раскатка цилиндрическим валком без его относительного смещения, наблюдается истечение материала заготовки в зазор между валком и оправкой с образованием тонкостенного элемента; б) раскатка высадкой заготовки с $h_0/b_0 < 2$, при незначительном смещении вершины конического валка ($\delta > 0$), исключено интенсивное истечение материала в зазор между валком и внутренней оправкой; в) раскатка высадкой заготовки с $h_0/b_0 < 2$ без внутренней оправки при относительно большем смещении вершины конического валка ($\delta > 0$), заметен отход и некоторое искривление внутренней поверхности заготовки в зоне бурта; г) отбортовка раскаткой заготовки с $h_0/b_0 = 5$, $\delta = 2,5 \mu b_0$, с интенсивным течением материала в центробежном направлении. Следует учитывать, что влияние активных сил трения на интенсивность течения металла усиливается с увеличением коэффициента трения на контакте валка с заготовкой.

Деформируемость материала заготовки в реальном технологическом процессе зависит от его пластичности, схемы формоизменения и технологических параметров процесса деформирования. Наиболее опасными из-за разрушения технологическими схемами ХТР являются высадка наружного бурта, раздача и отбортовка трубной заготовки.

При высадке наружных буртов к ухудшению условий деформируемости приводит увеличение отношения высоты выставленной под раскатку части заготовки к толщине её стенки h_0/b_0 и смещение конического валка в направлении пятна контакта ($\delta > 0$).

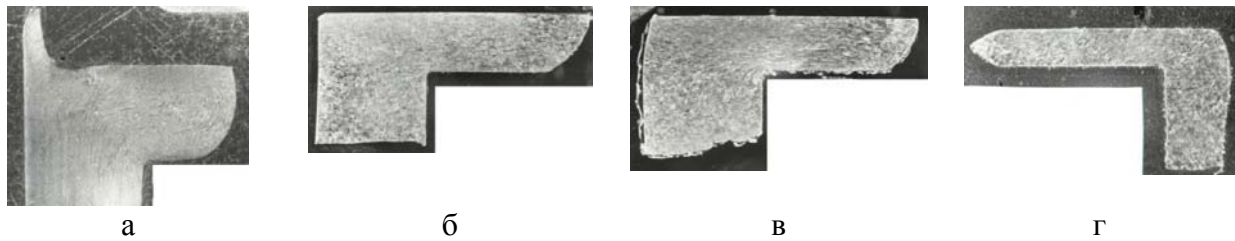


Рис. 3. Сечения наружных буртов трубной заготовки, раскатанных при разных исходных положениях валка, по отношению к заготовке

Оценку деформируемости металлов, которая при разработке процессов ХТР состоит в определении достижимой предельной интенсивности деформаций ε_* или величины использованного ресурса пластичности ψ_u , целесообразно производить с применением феноменологической теории деформируемости [2]. Использование данного подхода предполагает знание диаграмм пластичности металлов и путей деформирования материала опасной зоны заготовки.

На рис. 4 представлены диаграммы пластичности ряда металлов и пути деформирования частиц материала свободной поверхности наружных буртов, при их высадке, в зависимости от параметров процесса ХТР.

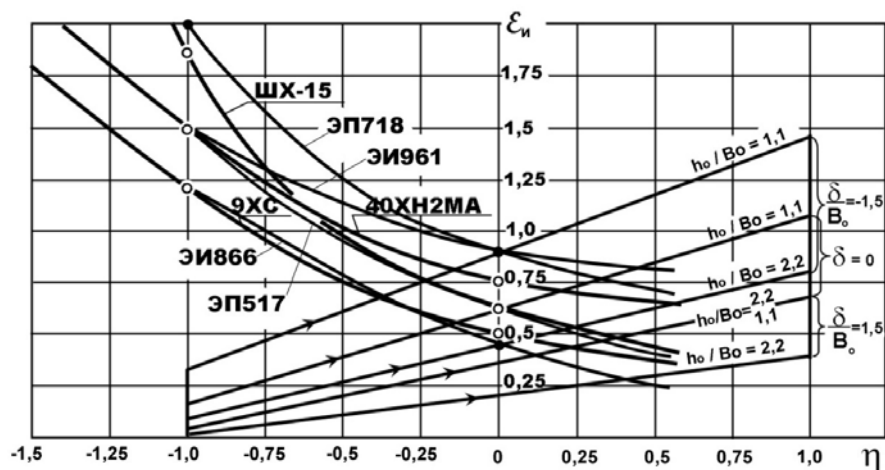


Рис. 4. Диаграммы пластичности сталей и сплавов (—○—) и пути деформирования (→) свободной поверхности периферийной части буртов, высаживаемых раскаткой

Предельный диаметр наружного бурта d_* заготовки, получаемого по схеме высадки раскаткой, может быть определён из соотношения

$$d_* = d_0 \cdot \exp\left\{0,865\varepsilon_*(\eta=0)\exp(-\eta_k \ln \lambda)w - 0,14[\varepsilon_*(\eta=0) \cdot \exp(-\eta_k \ln \lambda)w]^2\right\}, \quad (1)$$

где d_0 – исходный диаметр заготовки; $\varepsilon_*(\eta=0)$ – предельная деформация при кручении; η_k – значение показателя напряженного состояния в точке пересечения пути деформирования частиц материала свободной поверхности бурта с диаграммой пластичности; $\lambda = \varepsilon_*(\eta=-1)/\varepsilon_*(\eta=0)$ – показатель чувствительности пластичности материала к схеме напряжённого состояния; $\varepsilon_*(\eta=-1)$ – предельная деформация при одноосном сжатии; w – коэффициент влияния истории деформирования на пластичность, при высадке раскаткой внешних буртов $w = 1,2 \dots 1,35$ [2].

Материалы с пологой диаграммой пластичности могут разрушаться не на свободной поверхности бурта, а в зоне с максимальной интенсивностью деформаций, распространяющейся

по всей высоте бурта на расстоянии b_0 от внутренней поверхности исходной трубной заготовки. В этом случае допустимую степень формоизменения необходимо проверять также по предельной степени осадки бурта:

$$\frac{h_0}{h_*} = \exp[\varepsilon_*(\eta = 0) \cdot \exp(1,5 \ln \lambda)]. \quad (2)$$

При раскатке трубных заготовок по схеме высадки наружных буртов, в случае относительно высокой выставленной под раскатку части заготовки ($h_0/b_0 \geq 2$), происходит искривление стенки с образованием в приконтактной с валком зоне наплыва металла в виде козырька. В процессе деформации наплыв увеличивается и приводит к образованию складки. Основными параметрами, определяющими искривление и складкообразование заготовки, являются относительная исходная высота деформируемой части заготовки h_0/b_0 и эксцентриситет валка δ . При высадке буртов с параметрами $2 < h_0/b_0 < 3$ для исключения складкообразования раскатку необходимо производить с положительным эксцентриситетом валка (рис. 1, б).

При раскатке заготовок с относительной толщиной стенки $b_0/d_0 \leq 0,1 - 0,12$ и относительной исходной высотой $h_0/b_0 > 3,5$ формование наружных буртов следует осуществлять по схеме отбортовки (рис. 5).

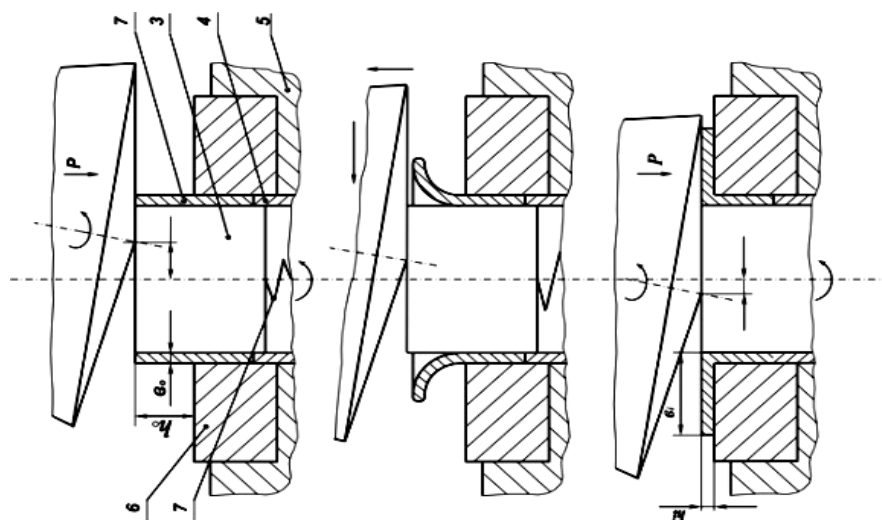


Рис. 5. Схема отбортовки бурта раскаткой

При этом на начальных этапах отбортовки назначают положительный эксцентриситет валка:

$$\delta = \frac{b_0}{(1,5 - 2)\mu}, \quad (3)$$

где μ — коэффициент трения.

В процессе отбортовки валок смещают в противоположном направлении с обеспечением отрицательного эксцентриситета, для исключения выворота деформируемой части заготовки.

Раскатка заготовок по схеме отбортовки сопровождается появлением значительных растягивающих напряжений, поэтому отбортовке раскаткой могут подвергаться только материалы с высокой пластичностью, имеющие величину относительного сужения при растяжении $\Psi_{ш} \geq 60 - 65 \%$.

Выбор оборудования обуславливается габаритами заготовок и требуемыми силовыми параметрами формоизменения. Силовой режим процесса зависит от площади контакта вала с заготовкой, характеристик прочности обрабатываемых материалов и влияния внешних, недеформируемых зон.

Расчёт полного усилия деформирования, обуславливающего выбор раскатного оборудования, можно произвести по формуле:

$$P = p_{cp} S, \quad (4)$$

где P – полное усилие деформирования, Н; p_{cp} – среднее удельное усилие, Н/мм²; S – площадь контакта инструмента с раскатываемой заготовкой.

Среднее удельное усилие находится по формуле:

$$p_{cp} = \frac{2Kh}{\mu l} \left(e^{\frac{\mu l}{h}} - 1 \right), \quad (5)$$

где h – высота высаживаемой части заготовки, мм; μ – коэффициент трения ($\mu = 0,05-0,1$); l – длина очага деформации, мм; $l = \sqrt{D_B \Delta h}$; D_B – диаметр катающей поверхности вала, мм; Δh – усреднённое единичное обжатие (находится в пределах 0,2–0,5 мм); K – истинное сопротивление деформации, Н/мм², определяется по кривой упрочнения при известной величине логарифмической деформации $e = \ln(h_0/h)$.

Определение площади контакта вала с раскатываемой заготовкой может выражаться через ν – коэффициент, характеризующий уменьшение площади контакта при торцовой раскатке по сравнению с традиционной штамповкой:

$$\nu = \frac{F_k}{F_3}. \quad (6)$$

При раскатке сплошных заготовок:

$$\nu = 0,486 \cdot Q^{0,531}, \quad (7)$$

где

$$Q = \frac{\Delta h}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (8)$$

При раскатке кольцевых заготовок коэффициент уменьшения площади контакта рассчитывается по формуле:

$$\nu = \frac{\nu_1 R^2 - \nu_2 r^2}{R^2 - r^2}, \quad (9)$$

где ν_1 и ν_2 рассчитываются по формуле (7) при $Q = Q(R)$ и $Q = Q(r)$, соответственно; R и r – наружный и внутренний радиус раскатываемого кольца.

В зависимости от значения необходимого усилия и производственной программы выбирается оборудование, на котором может быть изготовлена заготовка [3].

Форма и размеры заготовки после торцовой раскатки определяются исходя из требований чертежа детали. На размеры назначаются припуски величиной 1–2 мм под дальнейшую обработку резанием. Допускается назначение чистовых размеров без последующей обработки резанием на неотчетливых поверхностях деталей и на поверхностях, сформированных калибровкой в закрытой полости раскатного штампа при обеспечении заданных требований к точности и шероховатости поверхности. Базовыми поверхностями заготовки являются внешний и внутренний диаметры и торцовая поверхность, которая не подлежит раскатке.

Объём материала заготовки под раскатку должен равняться объёму готовой детали плюс объёму материала возможного облоя и припусков на обработку резанием. При наличии свободной поверхности бурта, которая не калибруется боковым роликом, необходимо также учесть объём металла, который будет удалён механической обработкой через несоответствие по форме контуров бурта заготовки и детали. Отклонение высоты бурта от заданной, как правило, не превышает $\pm 0,05$ мм, что обусловлено жёсткостью оборудования и ограничением раскатки упором.

В качестве материала инструмента могут быть использованы штамповые и инструментальные стали, обеспечивающие твёрдость при закалке HRC 58...62. При раскатке металлов с высокими характеристиками прочности преимущественно используют штамповые стали X12M и X12Ф1А. При раскатке цветных металлов с использованием открытых технологических схем можно использовать инструментальные углеродистые стали типа У8А с более низкими показателями твёрдости (HRC 52...56).

В случае деформирования металлов, имеющих склонность к налипанию, необходимо избегать родственности материала вала и заготовки, а также предусматривать нанесение химического покрытия на рабочие поверхности инструмента. Рекомендуются обеспечивать шероховатость рабочих поверхностей инструмента $R_a \leq 0,63$ мкм.

Форма и размеры валков должны обеспечивать их прочность, долговечность и необходимую жёсткость. В местах перехода поверхностей необходимо предусматривать округленные радиусом $R \geq 1$ мм.

Заготовки при использовании некоторых схем раскатки могут иметь винтовой след на внешней или внутренней поверхности, образующийся в результате пружинения вала при его отводе. Величина такого следа не должна превышать 1/3 припуска на финишную механическую обработку.

Лущение поверхностного слоя заготовки на контакте с валком недопустимо для деталей, у которых эта поверхность будет работать в условиях высоких контактных напряжений. Для устранения лущения необходимо избегать длительной обработки заготовки в условиях упруго-пластического деформирования (с подачей меньше 0,05 мм/об).

Недопустимо также наличие трещин по ширине раскатываемого бурта. На свободной периферийной поверхности бурта допускается наличие микротрещин глубиной не более 1/3 припуска под последующую механическую обработку.

ВЫВОДЫ

Процессы ХТР являются высокоэффективными, что обуславливает необходимость их широкого внедрения в отечественную металлообработку. Основным препятствием на пути такого внедрения является недостаточность необходимого оборудования и методик построения технологических процессов. Предложенный подход позволяет обоснованно выбирать технологические схемы и назначать рациональные параметры технологических процессов ХТР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов : монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – Киев : Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Матвийчук В. А. Оборудование для производства осесимметричных заготовок холодной торцевой раскаткой / В. А. Матвийчук // Обработка материалов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (22). – С. 256–261.

Матвийчук В. А. – д-р техн. наук, проф. КУРО.

КУРО – Киевский университет рыночных отношений, г. Киев.

E-mail: matvvik@mail.ru