

УДК 621.77

Алиев И. С.  
Матвийчук В. А.

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ЛОКАЛЬНОГО РОТАЦИОННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Применение способов ротационной обработки металлов давлением с локальным воздействием инструмента на заготовку обеспечивает достижение высокой производительности и точности изделий. Производительность обеспечивается путём реализации вращательного и относительного поступательного движения заготовки и инструмента, а повышение точности достигается за счёт уменьшения усилия деформирования и придания заготовке вращения, что облегчает снижение относительного биения торцовых и диаметральных поверхностей. Кроме того, способы локального ротационного деформирования позволяют изготавливать заготовки с использованием закрытых схем, что обеспечивает повышение их точности в результате калибровки.

В настоящее время разработаны многочисленные способы локального ротационного деформирования, для которых характерны различные отличительные признаки:

– по кинематике заготовки и инструмента: вращается только заготовка, только инструмент, и заготовка и инструмент (в одном и противоположном направлениях); взаимное перемещение заготовки и инструмента является поступательным, возвратно-поступательным, сложным; взаимное перемещение инструмента и деформируемого металла – прямое, обратное, поперечное или боковое;

– по форме заготовки: сплошная, полая, листовая, профильная, трубная, кольцевая;

– по форме инструмента: валок, ролик (цилиндрический, конический, конусно-дисковый, с профильной поверхностью), шарик, роликовая и шариковая обоймы, давилник, плоская рейка, клин, сегмент, фасонный инструмент трения, плашка, метчик, боёк и др.

Многообразие перечисленных отличительных признаков, а также ряд других специфических особенностей, существенно усложняют общую классификацию способов локального деформирования, призванную способствовать обоснованному их выбору для эффективного производства изделий определённого типа [1–4].

Целью работы является разработка общей классификации способов локального ротационного деформирования с обозначением областей их применения и путей развития.

На рис. 1–4 представлена общая классификация способов локального ротационного деформирования по основным отличительным признакам, определяющим их технологические возможности и область применения. За главный обобщающий признак было выбрано направление деформирования – вдоль, поперёк или в торец заготовки. Вторым обобщающим признаком является форма и взаимное расположение заготовки и инструмента, что определяет общепринятое название метода деформирования. В качестве остальных признаков приняты основные отличительные особенности рассматриваемого способа: вид изделий, форма инструмента и направление его перемещения, тип оборудования, температурный режим и др. Более детальную классификацию целесообразно проводить в рамках каждого способа, что позволит конкретно определять область применения и технологические возможности отдельных схем деформирования.

Наиболее распространёнными процессами локальной ротационной обработки давлением, в которых инструмент вращается, а очаг деформации перемещается вдоль заготовки, является прокатка. В зависимости от формы и размеров производимых изделий, технологических режимов и оборудования различают горячую прокатку толстых листов и широких полос; холодную прокатку тонких полос, лент и фольги; прокатку фасонной сортовой стали с использованием различных станков и схем калибровки.

Развитие процессов прокатки идёт путём разработки новых технологических схем и режимов (прокатка между неподвижным и приводным рабочими валками [1]; прокатка с изменением взаимной ориентации рабочих валков [2]; круговая прокатка тонких дисков со смещением оси вращения диска [3] и т. д.).

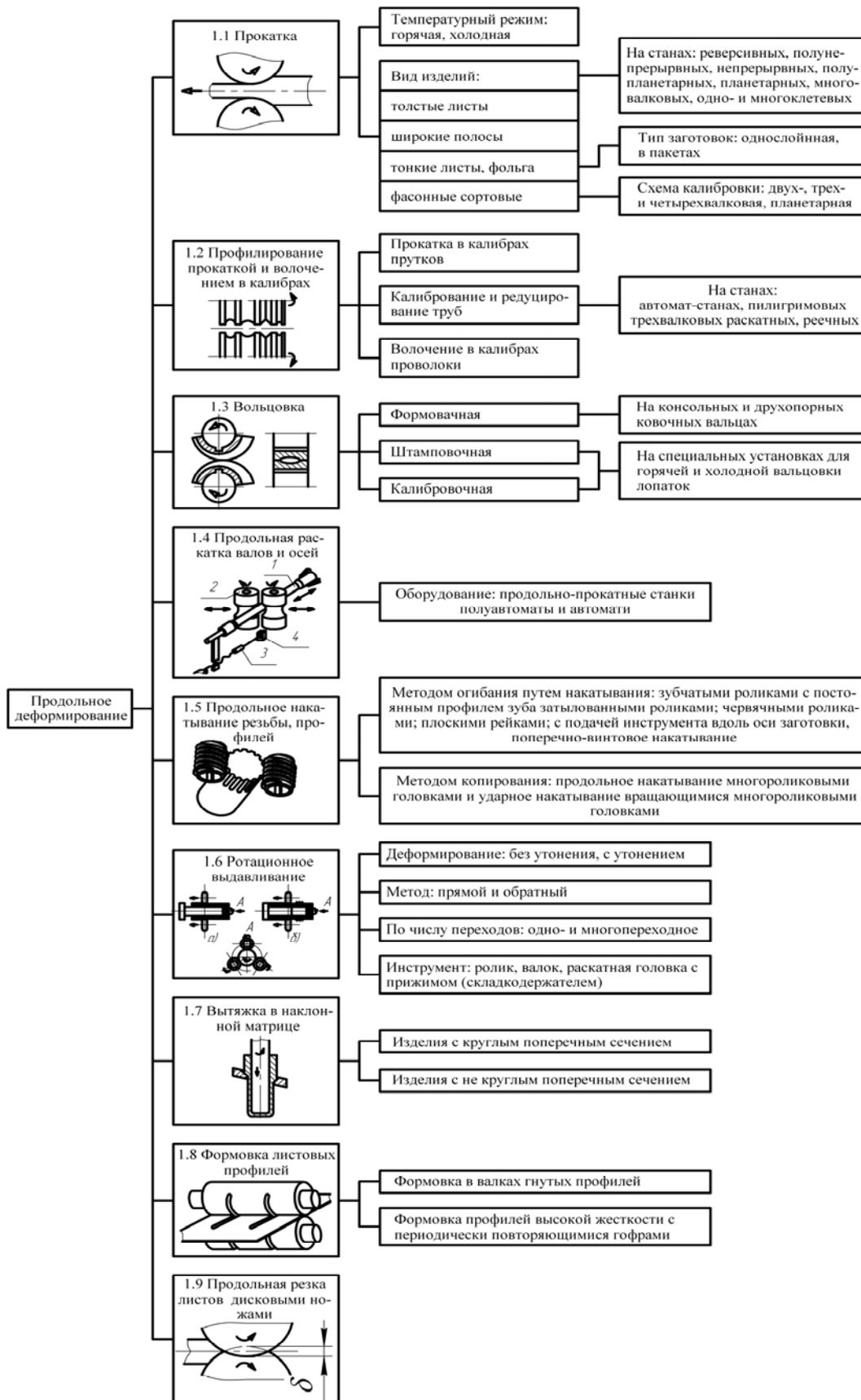


Рис. 1. Схемы продольного локального ротационного деформирования

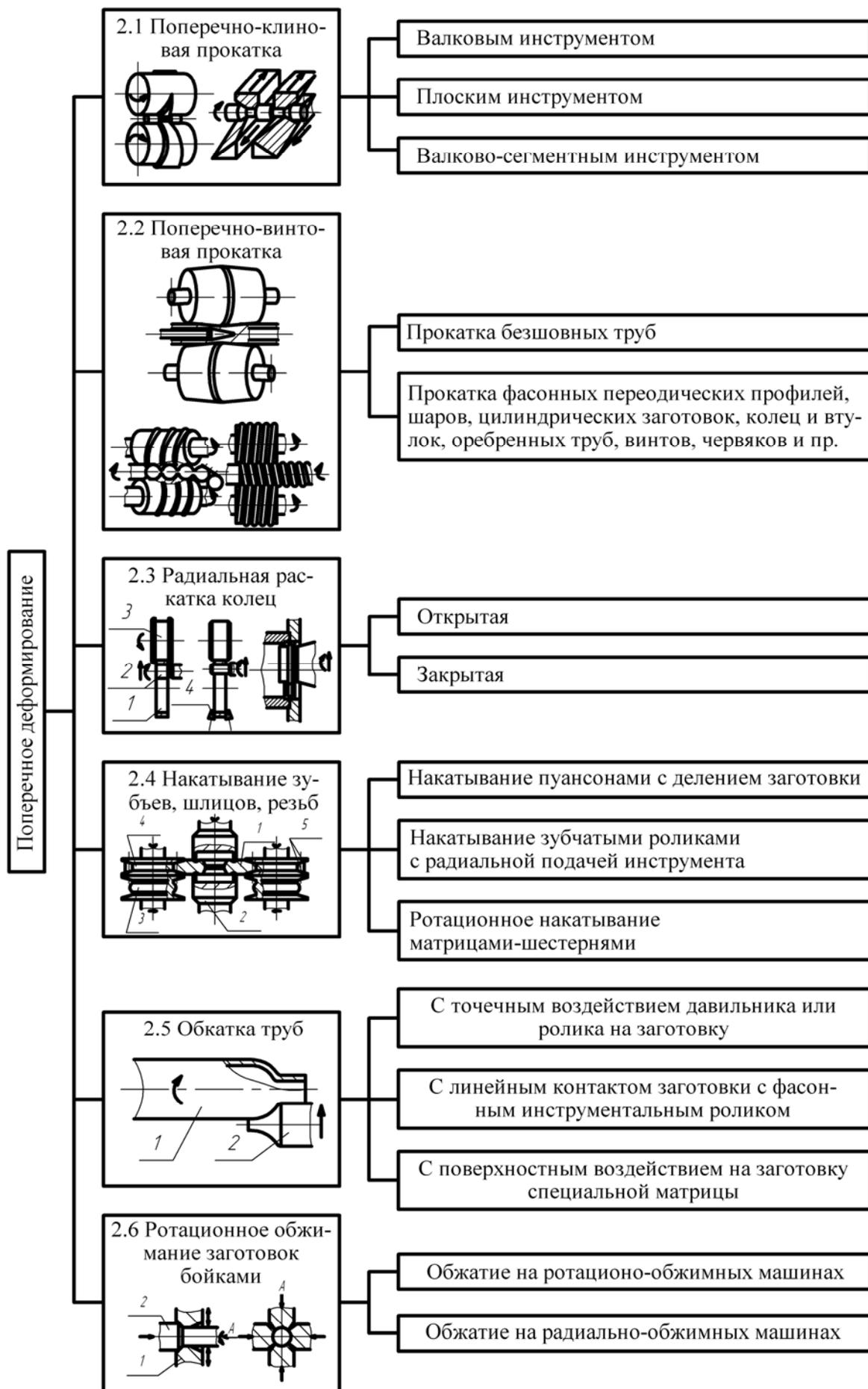


Рис. 2. Схемы поперечного локального ротационного деформирования

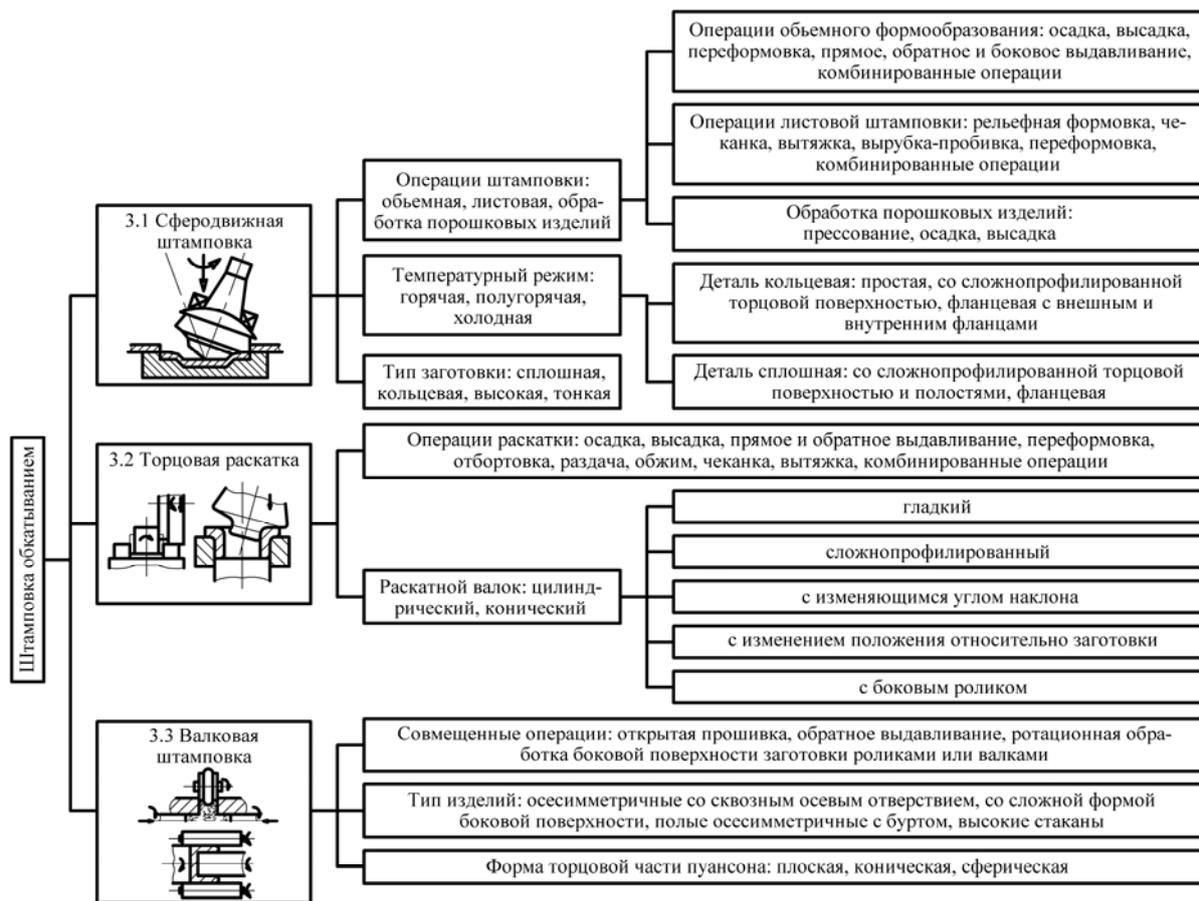


Рис. 3. Схемы локального ротационного деформирования штамповкой обкатыванием

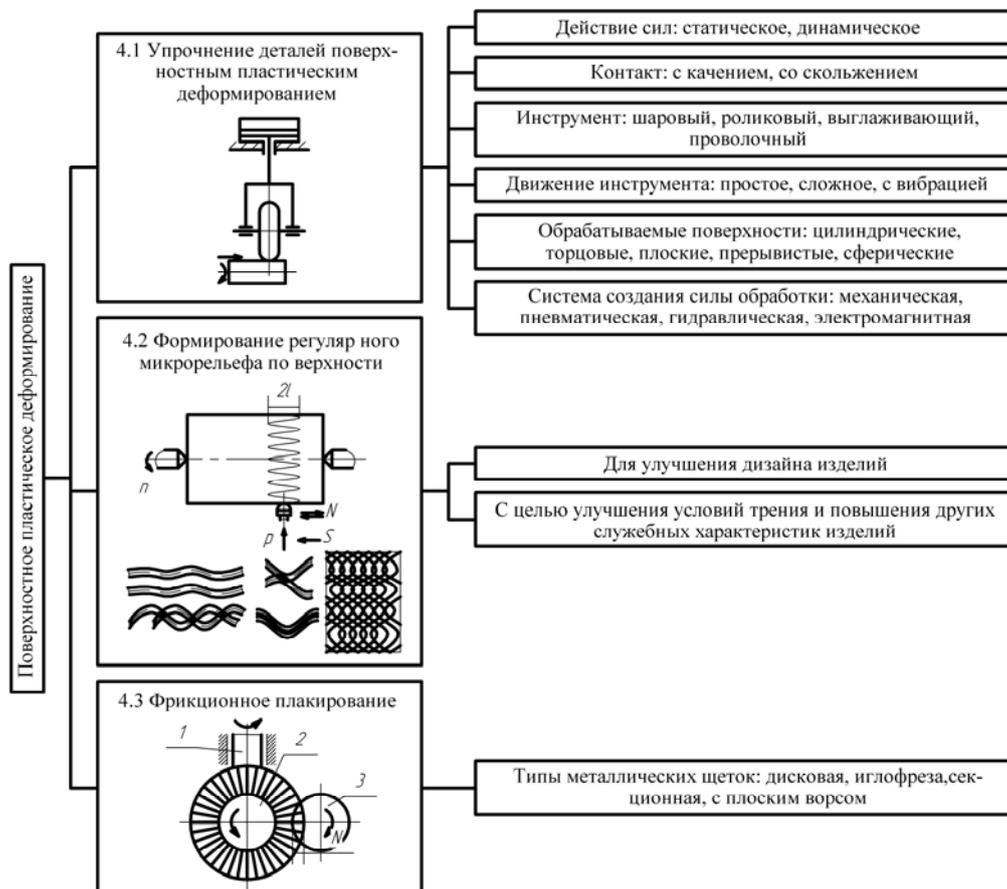


Рис. 4. Схемы поверхностного локального ротационного деформирования

Прокатка и волочение в калибрах прутков, проволоки и труб являются высокопроизводительными процессами по производству высококачественных изделий. Их развитие осуществляется путём совершенствования системы калибров для повышения производительности труда, расширения ассортимента изделий и повышения их качества.

Вальцовка заготовок подразделяется на следующие виды: формовочная – для получения фасонных заготовок под последующую штамповку; штамповочная – для получения штампованных поковок (производство заготовок лопаток горячей вальцовкой); калибровочная – для точной холодной вальцовки деталей вместо обработки резанием (производство холодной вальцовкой заготовок компрессорных лопаток).

Продольная раскатка валов и осей применяется для изготовления деталей типа ступенчатых валов диаметром 15–200 мм и длиной 250–2300 мм из углеродистых и высоколегированных сталей. Внедрение продольной раскатки деталей взамен обработки резанием позволяет уменьшить расход металла на 20–40 %, сократить расход инструмента, повысить долговечность деталей более чем в 1,5–2 раза [4].

Продольное накатывание резьбы и профилей с тангенциальной подачей. Процессы накатывания широко применяются при производстве зубчатых колёс, валов и осей со шлицами прямоугольного, эвольвентного и треугольного профилей с использованием методов копирования и огибания [5].

Ротационное выдавливание, относится к числу точных формообразующих методов пластического деформирования [6]. Данный метод позволяет со значительным экономическим эффектом изготавливать детали типа конусы, цилиндры, многоступенчатые осесимметричные детали с переменным сечением и образованием фланцев различной толщины. Развитие процессов ротационного выдавливания идёт по пути разработки новых схем, технологической оснастки, использования нагрева заготовок.

Вытяжка в наклонной матрице позволяет получать точные тонкостенные изделия с круглым и не круглым поперечным сечением при достижении высоких степеней обжатия в условиях «мягкой» схемы напряжённого состояния. Развитие метода идет путём совершенствования устройств и схем вытяжки [7].

Формовка листовых профилей, включает формовку в вальках гнутых профилей и формовку профилей высокой жёсткости с периодически повторяющимися гофрами [8].

Продольная резка листов дисковыми ножами. Совершенствование технологии и оборудования осуществляется на основании развития методов расчёта и реализуется путём обоснованной заточки ножей, ограничения силы прижатия взаимодействующих режущих кромок и величины допускаемого торцевого биения ножей [9].

Значительное место в ОМД занимают локальные ротационные процессы поперечного деформирования. Схемы поперечно-клиновой прокатки позволяют получать дозированные по массе заготовки для штамповки в закрытых штампах, а также детали, не требующие значительной последующей механической обработки [10].

Поперечно-винтовая прокатка применяется для прокатки бесшовных труб, производства фасонных периодических профилей, шаров диаметром 27–125 мм, цилиндрических заготовок диаметром 25–110 мм, кольцевых и втулочных поковок с наружным диаметром 60–120 мм, оребренных труб, деталей с винтовой наружной поверхностью, длинных валов с изменяющимся по длине профилем и др. [11].

Радиальная раскатка кольцевых заготовок осуществляется по открытой и закрытой схеме деформирования [12]. Расширение технологических возможностей процесса идёт путём применения способов получения качественных исходных заготовок поперечно-винтовой прокаткой, получения колец из листа и профильного проката изгибом и сваркой с последующей калибровкой. Это позволяет усилить роль операции раскатки в технологическом процессе с целью максимального приближения формы и размеров заготовок к готовым деталям путём: усложнения формы сечения кольца на операции раскатки; повышения раскаткой точности некоторых поверхностей заготовки и др.

Радиальное накатывание зубьев, шлицев, резьбы осуществляется зубчатыми роликами с перемещением инструмента к оси заготовки. В качестве приводных могут использоваться один или несколько роликов или заготовка. При ротационном накатывании матрицами-шестернями профиль на заготовке формируется ударным методом тремя матрицами-шестернями, движущимися возвратно-поступательно во вращающемся роторе [5].

Обкатка труб применяется для получения заготовок путём формирования днищ, пережимов, горловин [13]. Расширение технологических возможностей процесса обкатки труб идёт по пути управления температурными полями, энергосиловыми параметрами обкатки и геометрией изделий через параметры оборудования, инструмента и условий обкатки.

Ротационное обжатие заготовок бойками осуществляется путём частых, последовательно чередующихся ударов бойками по поверхности заготовки, в результате чего заготовка обжимается со всех сторон, уменьшается её поперечное сечение и увеличивается длина [14]. Совершенствование метода идёт путём его интенсификации на основе моделирования повреждённости материала заготовки.

Штамповка обкатыванием в торец не вращающихся заготовок, именуемая также сферодвижной штамповкой, осуществляется на специальных сферодвижных прессователях и гидравлических прессах для штамповки обкатыванием [15]. Развитие сферодвижной штамповки идёт по пути разработки новых схем деформирования и совершенствования технологических параметров процесса.

Торцовая раскатка относится к штамповке обкатыванием вращающихся сплошных и кольцевых заготовок цилиндрическим или коническим валком с приложением инструмента к торцовой части заготовки [12]. Развитие торцовой раскатки идёт по пути разработки новых схем деформирования, расширения технологических возможностей процесса и повышения качества изделий на основе управления активными силами трения и деформируемостью обрабатываемых металлов [16].

К штамповке обкатыванием следует отнести также валковую штамповку [17]. Согласно данному методу, воздействие вращающегося инструмента на заготовку идёт в осевом и радиальном направлении, осуществляя совмещение обратного выдавливания и локального деформирования боковой поверхности заготовки роликами или приводными валками. Метод позволяет получать полые изделия с глухим и сквозным осевым отверстием и различной формой боковой поверхности, в т. ч. и формирование буртов в верхней и средней части детали.

Отдельным направлением среди способов ротационной обработки с локальным воздействием инструмента на заготовку является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Отличительной чертой ППД является то, что по сравнению с остальными рассматриваемыми способами локального деформирования, оно не предназначено для пластического формоизменения заготовок. Основной целью применения данного метода является упрочнение поверхностного слоя деталей пластическим деформированием и формирование регулярного микрорельефа поверхности. Таким образом, ППД предназначено для повышения качественных характеристик изделия, т. е. усталостная прочность, износостойкость, сопротивление схватыванию, коррозионная стойкость, контактная выносливость, а также для улучшения дизайна изделий. ППД деталей осуществляется с использованием статических, динамических и комбинированных методов обработки, которые к настоящему времени получили достаточно широкое распространение [18]. Развитие методов ППД идёт путём их комбинирования с другими методами улучшения свойств поверхности, в частности, разработкой фрикционного плакирования [19], сущность которого состоит в одновременном поверхностном упрочнении деталей и нанесении металлических покрытий металлическими щётками.

## ВЫВОДЫ

В результате исследования разработана общая классификация способов локального ротационного деформирования, освещены области их применения, а также отмечены пути развития и совершенствования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федоринов В. А. Процесс ДНПВ : теория, технология, конструкции / В. А. Федоринов. – Краматорск : ДГМА, 2003. – 316 с.
2. Управление качеством листового проката / В. Л. Мазур, А. М. Сафян, И. Ю. Приходько, А. И. Яценко. – К. : Техника. 1997. – 384 с.
3. Капланова Е. В. Исследование деформационных параметров при круговой прокатке тонких дисков со смещением оси вращения диска / Е. В. Капланова // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2002. – С. 502–507.
4. Семибратов Г. Г. Точная раскатка валов и осей / Г. Г. Семибратов. – Л. : Машиностроение, 1980. – 133 с.
5. Миропольский Ю. А. Технология и оборудование для накатывания резьб и профилей / Ю. А. Миропольский, И. З. Мансуров, В. С. Стрельченко. – М. : НИИМаш. 1984. – 44 с.
6. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Н. И. Могильный. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
7. Стеблюк В. И. Удосконалення пристрою для витягування волочинням особливо тонкостінних трубчастих виробів / В. И. Стеблюк, І. П. Азарх // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – 2009. – № 1 (20). – С. 312–315.
8. Тришевский О. И. Технологические возможности и перспективы развития процессов производства профилей высокой жесткости с периодически повторяющимися гофрами / О. И. Тришевский // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2002. – С. 225–229.
9. Развитие методов расчёта, совершенствование технологий и оборудования агрегатов продольной резки холоднокатанных лент, листов и полос / В. Ф. Потапкин, Ю. К. Доброносков, В. Д. Нотченко, А. Н. Бойденко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ – Слов'янськ, 2003. – С. 33–37.
10. Поперечно-клиновья прокатка в машиностроении / А. И. Целиков, И. И. Казанская, А. С. Сафонов [и др.]. – М. : Машиностроение. 1982. – 192 с.
11. Тетерин Н. К. Теория поперечно-винтовой прокатки / Н. К. Тетерин. – М. : Металлургия, 1971. – 365 с.
12. Богоявленский К. Н. Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок / К. Н. Богоявленский, М. Т. Селин, В. В. Лапин. – М. : НИИМаш, 1981. – 82 с.
13. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой : монография / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 284 с.
14. Шестаков Н. А. Технология ротационной ковки и вальцовки / Н. А. Шестаков, А. А. Шевченко. – М. : Высшая школа, 1982. – 151 с.
15. Пиенишнюк А. С. Процесс штамповки обкатыванием, специализированное оборудование и методика проектировочных и технологических расчетов / А. С. Пиенишнюк, Л. Т. Кривда // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 5. – С. 26–28.
16. 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.
17. Анализ характерных дефектов изделий при валковой штамповке ступенчатых деталей / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, К. И. Капырин, Т. В. Фёдоров // Механика деформируемого твёрдого тела и обработка металлов давлением : Известия ТулГУ. – 2003. – № 2. – С. 77–79.
18. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
19. Белевский Л. С. Модификация поверхности металлических изделий с целью улучшения их функциональных характеристик / Л. С. Белевский, С. А. Тулупов, О. М. Смирнов // Сборник докладов и материалов VIII Конгресса «Кузнец-2008». – Рязань, 2008. – С. 257–269.

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ОМД ДГМА;  
Матвийчук В. А. – д-р техн. наук, доц. ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua