

УДК 621.771

Матвийчук В. А.
Алиева Л. И.
Сухоруков С. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСАДКИ ТОРЦОВОЙ РАСКАТКОЙ НАРУЖНЫХ БУРТОВ НА ТРУБНЫХ ЗАГОТОВКАХ

Холодная торцовая раскатка (ХТР) – высокоэффективный технологический процесс, обеспечивающий максимальное приближение формы и размеров заготовки к готовой детали. Однако технологические возможности процесса ХТР часто ограничиваются разрушением деформируемого материала, потерей устойчивости заготовки, возникновением неблагоприятных контактных напряжений, снижающих стойкость оснастки и возможность получения точных изделий. Значительный интерес представляет также решение проблемы обеспечения заданных служебных характеристик изделий, изготавливаемых ХТР [1].

Для изучения и расширения технологических возможностей ХТР производились исследования напряжённо-деформированного состояния (НДС) с использованием экспериментально-расчётных методов, а также осуществлялась оценка деформируемости материала заготовок с применением феноменологических критериев разрушения [2, 3, 4].

При экспериментальном исследовании было установлено, что деформируемость и стойкость заготовок зависят от кинематики движения частиц материала на контакте с валком, а направление течения металла в при контактной зоне зависит, в свою очередь, от ряда параметров. Основными влияющими технологическими параметрами, при раскатке коническим валком, являются угол наклона α оси вала по отношению к оси заготовки, а также величина и направление смещения вершины вала δ по отношению к центру вращения заготовки (рис. 1).

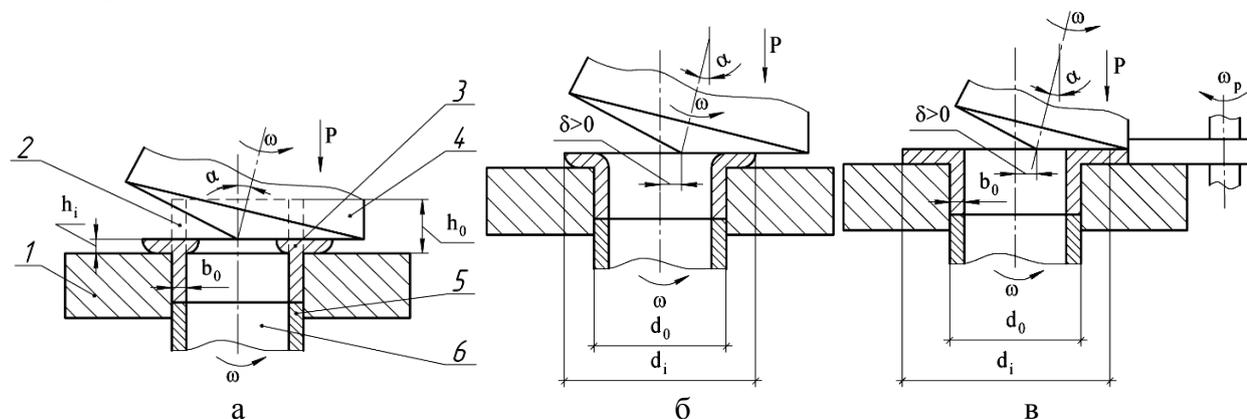


Рис. 1. Схемы высадки раскаткой буртов (1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – изделие; 4 – валок; 5 – выталкиватель; 6 – оправка):

а – наружных и внутренних; б – наружных со свободной поверхностью бурта; в – наружных с подпором боковым роликом

Влияние указанных параметров, а также исходных относительных размеров и материала заготовки на НДС и деформируемость весьма существенно [1, 2, 3]. На рис. 2 показаны пути деформирования частиц материала наиболее опасной, с позиции разрушения, свободной поверхности бурта, полученные методом сеток. Наличие указанной информации позволило производить оценку деформируемости и обоснованно выбирать условия раскатки для изготовления конкретных заготовок. Однако полученные результаты не охватывают всего спектра возможных изменений параметров раскатки, а также не раскрывают характера НДС в сечении бурта, где расположена зона максимальных деформаций, соответствующая, как

правило, участку изделия, к которому предъявляются повышенные служебные требования. К тому же при высадке буртов раскаткой для ряда металлов существует опасность разрушения бурта именно в зоне с максимальными деформациями (рис. 3).

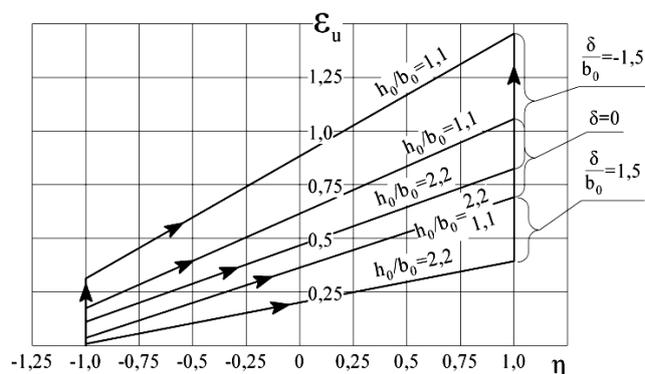


Рис. 2. Вид путей деформирования частиц материала свободной поверхности бурта в зависимости от параметров процесса



Рис. 3. Вид заготовки с трещиной в зоне максимальных деформаций

Исследование влияния всех возможных факторов на процесс высадки буртов раскаткой экспериментальными методами является весьма трудоёмким. К существенным недостаткам теоретических методов исследования следует отнести трудность или невозможность их применения к исследованию сложных процессов штамповки обкатыванием. Недостатками данных методов являются также неадекватность принимаемых допущений физической природе реальных процессов локального деформирования; необходимость принятия гипотезы идеальной пластичности или усреднения интенсивности напряжений по очагу пластической деформации; сложность учёта контактных условий и правильной оценки формоизменения деформируемого образца на каждом этапе раскатки и пр.

Альтернативой экспериментальному исследованию и теоретическому анализу является использование имитационного моделирования процессов штамповки обкатыванием с помощью метода конечных элементов (МКЭ). К сожалению, в литературе отсутствует информация о моделировании процессов ХТР с применением численных методов. В то же время, наличие результатов, полученных экспериментально-расчётными методами при моделировании таких процессов локального деформирования, как поперечно-клиновая прокатка [5] и сферодвижная штамповка [6] позволяет судить об эффективности данного метода при решении задач совершенствования технологических процессов.

Целью данной работы является моделирование процесса высадки торцевой раскаткой наружных буртов на трубных заготовках с применением МКЭ.

Для реализации поставленной цели и обоснования расчётного метода, рассмотрим основные результаты исследования процесса высадки буртов раскаткой, полученные экспериментально-расчётными методами.

При высадке буртов раскаткой, в случае совмещения вершины вала с центром поперечного сечения заготовки (рис. 1, а, $\delta = 0$), наблюдается преимущественное течение металла наружу, при одновременном образовании менее развитого внутреннего бурта. Для формирования по такой схеме только наружного бурта, течение металла по направлению к центру поперечного сечения заготовки ограничивают конструкцией оснастки. Форма полученного таким образом бурта, а также характер распределения в его сечении интенсивности деформаций $\epsilon_u = const$ и напряжений $\sigma_u = const$, определённых с использованием метода измерения твёрдости, представлены на рис. 4, а. Следует отметить, что высаживать по такой схеме высокие бурты не представляется возможным из-за образования складок на деформируемом участке заготовки. Недостатком схемы является также вероятность образования облоя на границе

внутренняя оправка-валок. Тем не менее, эта схема является наиболее распространённой, а в конструкциях, где не предусмотрена возможность смещения валка в плоскости раскатки при наладке – и единственной.

Высадку высоких наружных буртов целесообразно производить с положительным смещением вершины валка (рис. 1, б, $\delta > 0$). При этом в случае более высоких значений δ образуется скруглённый переход от внутренней поверхности заготовки к бурту (рис. 1, б), а при меньших значениях – только некоторое искривление внутренней поверхности (рис. 4, б). Характер распределения интенсивности деформаций в сечении бурта близок к раскатке при $\delta = 0$, что подтверждается качественным микроструктурным анализом (рис. 4, б).

При высадке наружных буртов раскаткой, из-за действия сил трения контур свободной поверхности является криволинейным. Однако, поскольку вектор активных сил контактного трения на границе валок – заготовка направлен преимущественно наружу [1], то максимальный диаметр бурта наблюдается вблизи контакта с валком (рис. 1 и 4). Изготовление бурта цилиндрической формы возможно с использованием дополнительного ролика (рис. 1, в). На рис. 4, в показана заготовка, полученная высадкой бурта раскаткой по схеме рис. 1, в. При этом наличие зазора между раскатным валком и боковым роликом позволяет сформировать обратным выдавливанием дополнительный элемент заготовки.

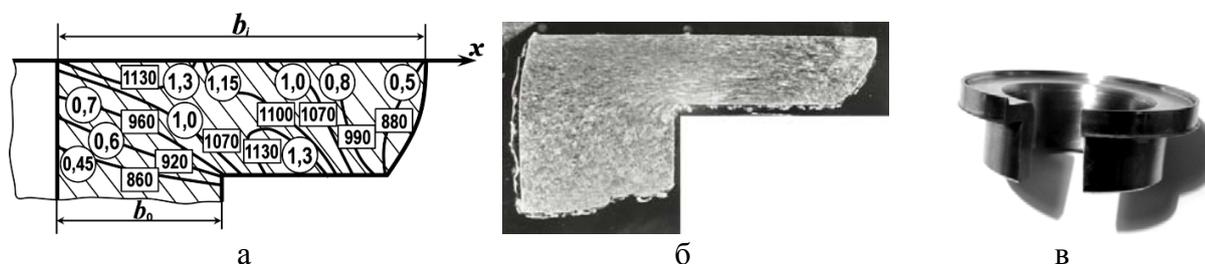


Рис. 4. Вид сечений буртов и заготовки, полученных высадкой ХТР:

а – характер распределения ε_u \bigcirc и σ_u \square ; б – микроструктура материала;

в – вид заготовки

Моделирование процесса ХТР МКЭ осуществляли для случая высадки наружных буртов со свободной поверхностью.

В настоящее время существует достаточно много специализированных и общинженерных пакетов (программных комплексов) конечно-элементного анализа. Для моделирования и исследования процессов ХТР был использован наиболее распространённый конечно-элементный пакет ANSYS|LS-DYNA.

Расчётная модель состоит из трубчатой цилиндрической заготовки, деформирующего конического валка, матрицы и оправки (рис. 5).

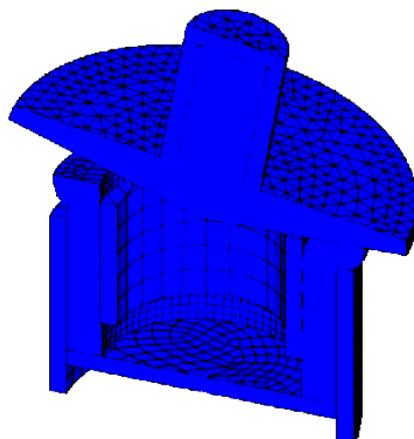
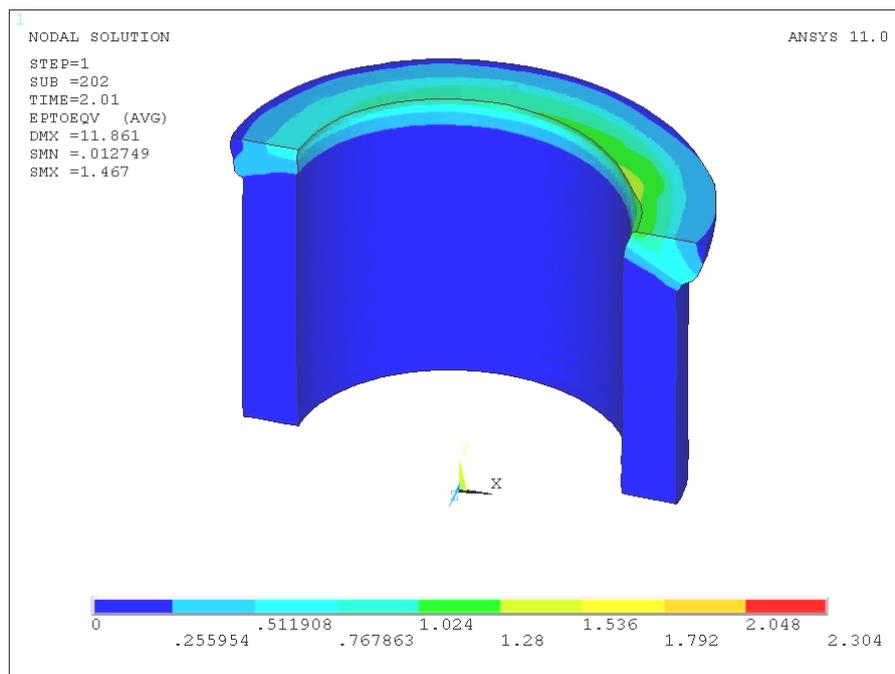
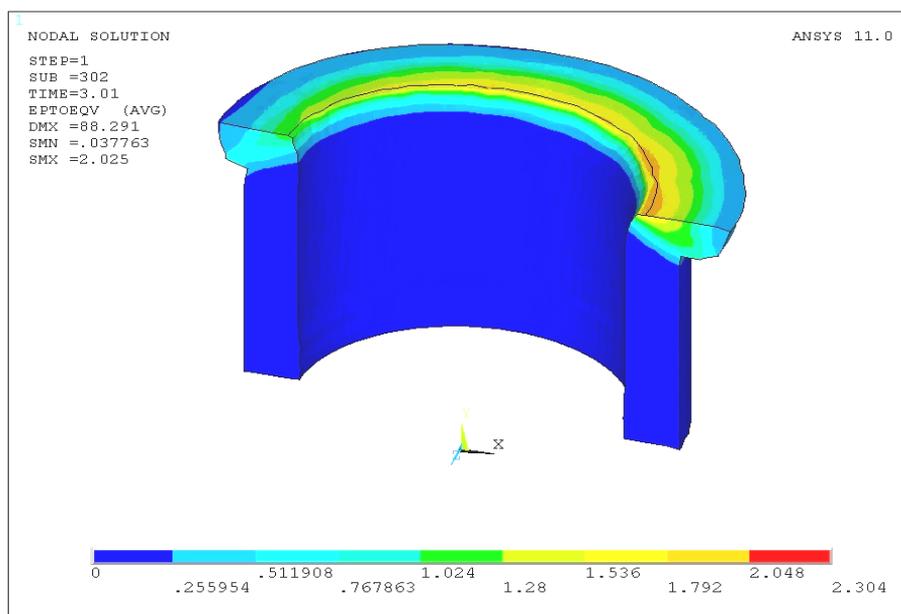


Рис. 5. Конечно-элементная модель высадки наружных буртов на трубной заготовке ХТР

Для расчёта используются 8-узловые конечные элементы. При этом инструмент представлен в виде абсолютно твёрдого тела, для уменьшения времени расчёта. На него наложены следующие граничные условия: он может перемещаться вдоль оси y и вращаться вокруг данной оси. Перемещение по осям x и z в процессе раскатки отсутствует. Контакт между инструментом и заготовкой определяется при помощи автоматического контактного алгоритма типа «поверхность-поверхность». На рис. 6 а, б, в представлены результаты расчёта интенсивности деформаций в сечении высаживаемого бурта по истечению 2, 3 и 5 секунд соответственно. На рис. 7 представлены результаты расчёта компонент напряжённого состояния $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и показателя напряженного состояния η для точек, находящихся на свободной поверхности и в сечении бурта.

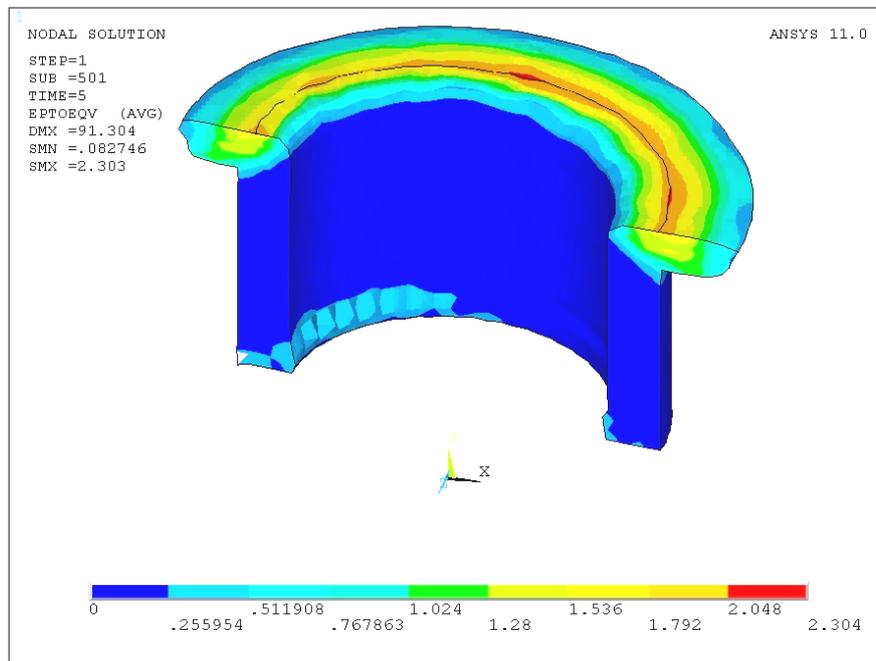


а



б

Рис. 6, лист 1. Распределение интенсивности деформаций в сечении бурта на разных стадиях высадки ХТР



В

Рис. 6, лист 2. Распределение интенсивности деформаций в сечении бурта на разных стадиях высадки ХТР



Рис. 7. Распределение компонент напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и показателя напряжённого состояния η на свободной поверхности (точка 1) и в сечении бурта (точка 2)

Основной сложностью при применении пакетов, использующих МКЭ – анализ, является постановка задачи, адекватная физической природе исследуемого процесса. Это положение в полной мере относится и к исследованию НДС при высадке буртов методом ХТР. Поэтому обоснованность применения МКЭ – анализа требует подтверждения результатов с использованием экспериментально-расчётных методов [7].

Сравнение значений, полученных расчётным и экспериментальным путём, показало, что отличие формы бурта и характера распределения по его сечению интенсивности деформаций находится в пределах погрешности, не превышающей 10–12 % (рис. 4 и рис. 6). Не превышает указанных расхождений и значение показателя напряжённого состояния для частиц свободной поверхности бурта, который изменяется от $\eta = -1$ на начальных стадиях раскатки и достигает значений $\eta = 0 - +1$ на последующих этапах высадки бурта (рис. 2 и рис. 7). Близким к нулю на свободной поверхности бурта в фазе деформирования оказалось также среднее главное напряжение σ_2 (рис. 7, б), что также соответствует результатам эксперимента.

Завышенными по абсолютной величине, по сравнению с результатами экспериментов, оказались значения показателя напряжённого состояния для внутренних точек сечения бурта. Получение качественных результатов МКЭ – анализом при высадке буртов ХТР затруднено также сложностью учёта влияния на НДС вектора активных сил трения, обусловленного рядом технологических параметров процесса.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о хорошем соответствии ряда результатов, полученных моделированием МКЭ процессов высадки торцевой раскаткой наружных буртов на трубных заготовках и данными расчётов, основанных на эксперименте. С помощью применения МКЭ – анализа можно установить характер расположения зон и величину интенсивности деформации, а также характер распределения НДС на свободной поверхности высаживаемых раскаткой буртов. Однако существуют особенности течения материала, обусловленные рассогласованием векторов скорости на контакте заготовки с валком, которые пока не удалось выявить конечноэлементным моделированием. Это подчеркивает необходимость совершенствования конечноэлементной модели, а также развития и использования экспериментально-расчётных методик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев И. С. Развитие локальных методов обработки металлов давлением / И. С. Алиев, В. А. Матвийчук // Обработка металлов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск : ДГМА. – 2008. – № 1 (19). – С. 201–205.
2. Matviychuk V. A. Development of technological process of flanges upsetting on tubular billets by face rolling / V. A. Matviychuk, L. I. Aliyeva // Produkcya i Zarzadzanie w Hutnictwie. XIV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Politechnika Czestochowska. Szczyrk 28 czerwca – 1 lipca. – 2006. – S. 132–136.
3. Матвийчук В. А. Оценка влияния технологических параметров процесса холодной торцевой раскатки на деформируемость заготовок / В. А. Матвийчук, И. А. Васянович // Электронная техника. Сер. 4. Электрорадиодетали и газоразрядные приборы. – 1985. – Вып. 6. – С. 42–45.
4. Матвийчук В. А. Оценка деформируемости и качества металлов при изготовлении сложнопрофильных деталей комбинированной торцевой раскаткой / В. А. Матвийчук, С. Н. Старцев // Электронная техника. Сер. 4. Электрорадиодетали и газоразрядные приборы. – 1989. – Вып. 1. – С. 61–65.
5. Сухоруков С. И. Оценка использованного ресурса пластичности при поперечно-клиновой прокатке // Обработка металлов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск : 2008. – № 1 (19). – С. 39–44.
6. Nowak J. Effect of friction on metal flow and shape in orbital forging process / J. Nowak, M. Pietrzyk, V. Pidvysoitskyu // Обработка металлов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск : ДГМА. – 2008. – № 1 (19). – С. 67–71.
7. Бейгельзимер Я. Е. Анализ деформированного состояния металла при винтовой экструзии : сопоставление результатов, полученных разными методами / Я. Е. Бейгельзимер, О. В. Прокофьева, Р. Ю. Кулагин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : тем. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 5–9.

Матвийчук В. А. – докторант ДГМА;
Алиева Л. И. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры ОМД ДГМА;
Сухоруков С. И. – аспирант ВНТУ.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;
ВНТУ – Винницкий национальный технический университет.

E-mail: matvvik@mail.ru