

УДК 620.179.112

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ДОРНОВАНИЯ И РЕДУЦИРОВАНИЯ

Анастасия Вячеславовна Бодарева

*Аспирант 1 года,
кафедра «Технологии обработки материалов»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.Л. Воронцов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

В современном автомобилестроении до 90 % всех деталей изготавливают методами обработки металлов давлением, причем наиболее применяемым методом по праву является холодная объемная штамповка.

Широкое применение объясняется тем, что в процессе обработки не требуется проводить предварительный нагрев заготовки, что значительно улучшает качество поверхности получаемых изделий из-за полного отсутствия окалинообразования. В большинстве случаев холодная объемная штамповка является малоотходным процессом, имея высокий коэффициент использования металлов (порядка 90 %). При холодной объемной штамповке резко повышается точность формообразования вследствие отсутствия значительных температурных деформаций заготовки и инструмента, а так же повышается производительность, сводя время получения деталей к секундам и даже долям секунды. Процесс холодной объемной штамповки сравнительно легко поддается автоматизации, улучшает условия и безопасность производства. К преимуществам следует отнести и тот факт, что после холодной объемной штамповки не требуется применение операций резания для доводки изделий.

В последнее время интенсивное развитие получили методы редуцирования и дорнования, обладающие широкими технологическими возможностями и высокими технико-экономическими показателями. Редуцирование относится к числу высокоэффективных процессов получения полых ступенчатых деталей типа втулка. Комбинирование методов дорнования и редуцирования основано на совмещении обработки отверстия дорном с редуцированием наружной поверхности жесткой фильерой.

Процессу свойствен ряд особенностей – фильера имеет такую внутреннюю поверхность, что наружная поверхность отверстия получает после обработки свойства внутренней поверхности фильеры при высокой точности и малой высоте неровностей.

Дорнование традиционно связывается с обработкой металлов резанием и специалистам в области обработки металлов давлением известно мало, поскольку его рассмотрение не входит ни в учебный курс «Технологияковки и объемной штамповки», ни в учебный курс «Технология листовой штамповки». Термин «дорнование» ни разу не упомянут ни в учебнике, ни в учебном пособии, ни в капитальных справочниках по холодной обработке металлов давлением. Правда, в листовой штамповке рассматривается очень близкий к дорнованию тонкостенных заготовок процесс раздачи. Но, во-первых, молодой специалист, не зная первого термина, не видит и связи этих понятий друг с другом. Во-вторых, назначение этих операций существенно различно: дорнование предназначено прежде всего для калибровки и улучшения качества самого отверстия, а раздача – для получения требуемой формы всего изделия и значительного (намного больше калибровки)

увеличения его наружного и внутреннего диаметров, причём, как правило, лишь в концевой части, а не по всей длине.

В академической теории пластичности наибольшее внимание уделяется математической строгости решения задачи. Для того чтобы можно было получить достаточно строгое решение, часто принимается, например, полное отсутствие контактного трения или, наоборот, условие полного прилипания, практически никогда не соответствующие реальным процессам обработки давлением. Во многих случаях академические решения приводят либо к громоздким и сложным математическим выражениям, либо к необходимости численного решения полученных уравнений. Очевидно, полагаясь на строгость математики, авторы академических решений, соответствующих своими названиями известным процессам обработки давлением, практически никогда не делают их экспериментальную проверку путём сопоставления с имеющимися опытными данными.

Многие попытки применения отдельных академических решений для расчёта реальных процессов обработки давлением дают неудовлетворительные результаты. Этому в немалой степени способствует то, что подавляющее большинство университетских теоретиков начиная со студенческой скамьи имеет дело лишь с принятыми в академических кругах абстрактными схемами технологических операций, весьма далёкими от реальности. А как сказал А. Ляв, «важный факт состоит в том, что наиболее крупные успехи в естествознании были достигнуты людьми, которые были хорошо знакомы с практическими требованиями». Чтобы создать полноценную для практики теорию процесса обработки металлов давлением, надо хорошо разбираться в кузнечно-прессовом оборудовании, используемом для осуществления процесса, знать технологические режимы, конструкцию применяемой штамповой оснастки, а также специфику конкретных изделий, получаемых с помощью данного процесса. Без этого теоретик не сможет дать полезные ответы именно на те вопросы, которые стоят перед технологом-практиком.

Тут уместно напомнить известные слова академика А.Н. Крылова, сказанные им про теоретиков, берущихся писать о строительной механике корабля: «В применении к кораблю необходимо «знать корабль», поэтому многие математические весьма изящные теории оказываются неприменимыми на практике, ибо их авторы не знали корабль и что на корабле надо делать и чего делать нельзя».

По указанным причинам, несмотря на то, что в академической теории пластичности получены решения задач с названиями «осадка», «прессование», «выдавливание», «волочение» и т.п., ни одно из этих решений не нашло практического применения при проектировании процессов обработки давлением.

Если для академического теоретика важны такие проблемы как, например, доказательство единственности решения, то теоретика обработки давлением подобные проблемы не интересуют вовсе. Все усилия последнего сосредоточены на получении решения пусть не строгого и не единственного, но зато адекватного закономерностям реальных технологических процессов, учитывающего все значимые влияющие факторы, дающего хорошую точность практических расчётов и удобного для использования.

Достоинствами теоретических методов исследования процессов обработки металлов давлением являются, во-первых, получаемые в ходе решения функциональные зависимости, позволяющие выявить физическую причину влияния тех или иных факторов на исследуемые параметры процесса и тем самым способствующие его целенаправленному совершенствованию, а во-вторых, выводимые расчётные формулы (математические модели), обеспечивающие проектирование типовых технологических процессов с большой быстротой и малыми финансовыми

затратами. Поэтому разработка теоретических методов получения аналитических зависимостей, точность которых достаточна для практики, по-прежнему остается важной и актуальной задачей теории обработки металлов давлением.

Основной задачей большинства известных теоретических исследований процессов обработки давлением являлось определение силы деформирования в зависимости от обжатия, контактного трения, формы инструмента и напряжения текучести. В последнее время стало актуальным решение значительно более сложных задач, связанных, например, с определением распределения механических свойств в получаемом изделии или с прогнозированием разрушения. Для этого необходимо определение напряжений и накопленных деформаций во всех точках пластической области. А для процессов выдавливания, приводимых далее в качестве иллюстрации применения рассматриваемых теоретических методов, определение этих характеристик необходимо и для вычисления максимального давления на стенку матрицы, используемого для обоснованного расчёта матрицы на прочность.

Для надёжного достижения поставленной цели теоретического исследования необходимо чётко представлять принципиальные возможности тех или иных общих теоретических методов, их возможную точность, достоинства и недостатки. В связи с этим проведём краткий общий анализ основных методов исследования, используемых в теории обработки металлов давлением. При необходимости более подробный критический анализ известных решений конкретных задач будет изложен в соответствующих разделах последующих глав. Последовательность решения наиболее известными теоретическими методами с приведением конкретных примеров излагаться не будут, поскольку заинтересованные читатели могут самостоятельно ознакомиться с этими материалами по известным учебникам по теории обработки металлов давлением.

Следует отметить, что в фундаментальной теории пластичности Д.Д. Ивлевым выполнено обобщение теории линий скольжения на пространственные задачи. Однако все решения методом линий скольжения и методом верхней оценки с помощью жёстких блоков (приближенным энергетическим методом), полученные в теории обработки давлением, основаны на уравнениях плоской задачи и распространяются на осесимметричные задачи объёмной штамповки бездоказательно. Например, А.Д. Томлёновым в работе осуществлялось теоретическое исследование выдавливания сферическим пуансоном. Методом линий скольжения решалась плоская задача с принятием нулевого трения по матрице, то есть сферический пуансон был заменён на радиусный, а реальный коэффициент трения не учитывался. Для того чтобы распространить полученное решение плоской задачи на осесимметричную, А.Д. Томлёнов в одном месте вводит грубое допущение о том, что напряжённые состояния в обоих случаях будут одинаковыми, а в другом месте предлагает считать, что удельная сила осесимметричного выдавливания равна удвоенной удельной силе плоского выдавливания.

Рассматриваемыми методами трудно учесть неопредельное контактное трение и упрочнение материала, а практическое использование их результатов сводится, по существу, к решению каждый раз частной задачи с грубыми допущениями и большим объёмом построений и вычислений. Надёжность и точность получаемых при этом расчётных зависимостей, бездоказательно распространяемых на осесимметричную деформацию, весьма невысоки.

Инженерный метод предназначен для определения нормальных напряжений только на контактной поверхности заготовки и инструмента. Это позволяет использовать всего одно уравнение равновесия и заменять в нём частные производные обыкновенными. Иногда, вместо использования классического уравнения, выводят упрощённое уравнение равновесия, заменяя бесконечно малый элемент конечным в

определённом направлении (метод тонких сечений). Инженерный метод является наиболее простым и наглядным из существующих, что способствует его наибольшему распространению. Однако простота метода во многих случаях не оправдывает следующие присущие ему недостатки, приводящие к непредсказуемой надёжности получаемых результатов и ограничениям задач, решаемых теоретическим исследованием.

Во-первых, в силу стремления к предельной простоте используемого математического аппарата, достигаемой отказом от учёта большинства уравнений общей теории пластичности, часто принимаются противоречащие друг другу исходные допущения, причём исследователи даже не подозревают об этом. Доказательность рассуждений подменяется псевдообоснованиями, плохо согласующимися друг с другом или с физикой процесса (как правило, это делается для прикрытия недостатков полученного решения).

Во-вторых, поскольку система допущений инженерного метода не связана ни с обеспечением кинематической возможности скоростей пластического течения, ни с обеспечением статической допустимости расчётных напряжений, то получаемую оценку силы деформирования нельзя заранее гарантированно отнести ни к верхней, ни к нижней. Например, формула для определения силы выдавливания цилиндрических стаканов, полученная инженерным методом в работе, даёт значения, примерно в 1,5 раза выше экспериментальных, а полученная тем же методом в работе – в 1,5 раза ниже.

В-третьих, инженерный метод принципиально не пригоден для получения формул распределения напряжений, скоростей течения и накопленных деформаций по объёму деформируемого тела, а также для определения формоизменения заготовки, размеров и формы очага пластической деформации.

Это часто вынуждает дополнять теоретические исследования, выполненные инженерным методом, сведениями, установленными экспериментально. Например, М.В. Сторожев, получив инженерным методом формулу для определения силы выдавливания цилиндрического стакана, вводит в неё экспериментальное значение высоты очага пластической деформации. Е.П. Унксов, исследуя осадку, также определяет экспериментально размер зоны, в которой касательные напряжения приняты линейно падающими до нуля. Однако это, во-первых, лишает теоретическое исследование цельности, а, во-вторых, вовсе не гарантирует надёжности полученных расчётных формул.

Во многих случаях точность вычислений по формулам, полученным инженерным методом, является невысокой, а сами формулы не отражают существенных физических особенностей реальных процессов деформирования.

В последнее время исключительно широко применяется метод конечных элементов, позволяющий найти перемещения, деформации и напряжения во всех узлах элементов, на которые разбита рассматриваемая среда.

Например, принимается наиболее простое предположение о линейной зависимости перемещений от координат рассматриваемой точки, после чего неизвестные коэффициенты функций перемещений выражаются через перемещения узловых точек элемента с помощью соответствующей системы уравнений. Используя соотношения для перемещений, выражают деформации, а затем и напряжения, которые будут, таким образом, являться функцией смещения узловых точек элемента. Затем полученные зависимости подставляют в выражения для потенциальной энергии деформации, представляя её как функцию узловых смещений. Минимизируя далее функцию энергии, то есть беря частные производные от энергии по соответствующим

узловым перемещениям, получают систему уравнений, определяющих искомые перемещения узлов, что и приводит к решению поставленной задачи.

Широта использования данного метода связана, во-первых, с тем, что он обладает универсальностью и позволяет решать достаточно сложные задачи, но в ещё большей степени обусловлена тем, что пользователи обычно применяют чужие программы, не требующие от них не только знания механики деформируемого твёрдого тела, но и понимания самой процедуры решения, выполняемой ЭВМ по той или иной программе метода конечных элементов. Последнее вызывает целый ряд негативных последствий, которые важно подробно рассмотреть.

Статьи, основанные на использовании метода конечных элементов, можно разделить на две категории. К сравнительно немногочисленной первой категории относятся статьи, написанные учёными, которые сами разрабатывают новые пакеты программ метода конечных элементов. Как правило, в этих статьях подробно и в доступной для большинства специалистов форме описывается, чем предлагаемый пакет программ метода конечных элементов отличается от других, обосновываются принятые упрощения, производится конкретное численное сопоставление результатов, полученных с помощью нового пакета, с результатами, полученными с помощью ранее известных программ. Кроме этого, надёжность и точность разработанного пакета программ подтверждается и сравнением с результатами подробно описанных экспериментов. В качестве примера приведём работу

Отметим важную роль смазывающего материала для проведения операции обработки поверхности комбинированными методами. При обработке отверстий методами дорнования и редуцирования неправильный выбор смазки может резко ухудшить качество обрабатываемой поверхности, привести к понижению стойкости инструмента и увеличению силы дорнования. Отсутствие смазки в процессе дорнования приводит к налипанию металла на поверхность дорна, что может вызвать его заклинивание.

При выборе смазочного материала необходимо исходить из условия получения наилучшей чистоты обработанной поверхности. Для этого смазочный материал хотя бы частично должен устранять непосредственный контакт между дорном и поверхностью отверстия обрабатываемой детали, т.е. поддерживать трущиеся поверхности на расстоянии друг от друга.

Как правило, при дорновании применяются жирные кислоты, соединения глицерина с пальмитиновой кислотой, эмульсия Укринол, эмульсия Аквол-2, масло МР-1 (для омедненных поверхностей). В данной работе рассмотрено воздействие композиции на основе масла И-40 с добавлением металлоплакирующей маслорастворимой присадки «Валена» (ТУ 0257-001-17368431-05) на качество трубной заготовки, обрабатываемой методом комбинированного дорнования и редуцирования по наружной и внутренней поверхностям.

Металлосодержащая маслорастворимая композиция представляет собой густую пасту темно-зеленого цвета, кинематическая вязкость при 100 °С составляет 15 мм²/с. Правильно подобранный смазочный материал способен уменьшить параметр Ra обработанной поверхности и снизить коэффициент трения.

В работе проведена серия экспериментов по определению влияния процентного содержания присадки на качество поверхности и шероховатость. За начальную концентрацию принята 10 % доля присадки в общем объеме смазочной композиции, вводимой в зону трения при дорновании. Так же проведены испытания с композицией в 15 %, 20 % и 30 % содержанием металлоплакирующей присадки «Валена».

Режимы деформирования разделяют на три категории: легкий, средний, тяжелый. Как показал эксперимент для снижения величины износа, применение

комбинированных методов обработки металлов давлением, осуществляемых при различной концентрации металлоплакирующей присадки «Валена», возможно при всех трех режимах деформирования.

Для легкого и среднего режимов повышение концентрации металлоплакирующей присадки «Валена» по (ТУ 0257 001-17368431-05) влияет на уменьшение величины износа Ул:

- для легкого режима на 20 %,
- для среднего режима на 15 %,
- для тяжелых условий работы узлов трения, какими являются комбинированные методы обработки металлов давлением, с увеличением концентрации металлоплакирующей присадки «Валена» усилия существенно снижаются при 15 % концентрации присадки на 10 %, при 25 % концентрации присадки на 20 %, а при 30 % концентрации на 28 %.

Для легких режимов снижение величины износа обеспечивает снижение расхода масляной составляющей смазывающей композиции. Для среднего режима в связи с более интенсивным проявлением эффекта безызносности кроме снижения износа следует отметить, что в периоде до появления задиров увеличивается в 3-5 раз ресурс работы сопряжения. Таким образом, эксперимент подтверждает целесообразность применения металлоплакирующей присадки «Валена» при различных режимах нагружения трибосопряжений.

Процессы дорнования и редуцирования широко применяются в производстве. Они позволяют получить высокую точность, например, при изготовлении многофункциональных втулок, применяемых в сельскохозяйственных машинах. Качество внутренней и внешней поверхностей деталей такого типа целесообразно улучшать обработкой комбинированными методами совместного редуцирования и дорнования с применением металлоплакирующей присадки «Валена».

Литература

1. *А.Л. Воронцов.* Напряженное состояние заготовки при обратном выдавливании // Известия вузов. Машиностроение. 1980. № 10. С. 108-112.
2. *А.Л. Воронцов.* Деформированное состояние заготовки в условиях нестационарного пластического течения // Труды МВТУ № 335. Машины и технология ОМД. 1980. С. 102-113.
3. *А.Л. Воронцов.* Напряженное состояние заготовки при выдавливании пуансоном со сферическим торцом произвольного радиуса // Совершенствование процессов обработки металлов давлением: Межвузовский сборник научных трудов. - М.: ВЗМИ. 1987. С. 37-44.
4. *Д.Н. Гаркунов, В.Г. Бабель, С.М. Мамыкин, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк.* Новые направления в триботехнике и их использование в повышении износостойкости механизмов и машин. М.: Издательство МСХА, 2007. 58 с.
5. *Н.Н. Зубков, И.Г. Кременский, С.Г. Васильев.* Восстановление изношенных поверхностей с использованием металлорежущего оборудования. - М.: Машиностроение, 2001.– 415 с.
6. *Ю.Г. Проскураков, В.Н. Романов, А.Н. Исаев.* Объемное дорнование отверстий. М.: Машиностроение, 1984.-223 с.