



РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.73(07)+621.98(07)+621.9(07)

Стасовский Ю. Н.
Чухлеб В. Л.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НА НОВОМ УРОВНЕ

Основной задачей технологического проектирования процессов обработки металлов давлением (ОМД) является определение такой ее последовательности, при которой наиболее полно используются технологические возможности оборудования, приспособлений и инструментов, а металлопродукция изготавливается с наименьшими материальными затратами при обеспечении гарантированного качества [1, 2].

Объектом технологического проектирования является технологический процесс, представляющий собой совокупность основных и вспомогательных операций, которым подвергается металл в процессе производства из него того или иного вида металлоизделия. Сущность, последовательность и режим операций определяют технологический процесс. По установившейся традиции при разработке технологического процесса ОМД сначала определяют схему технологического процесса, т. е. устанавливают сущность и последовательность операций, которым подвергается металл, начиная от слитка и кончая получением готового изделия. Затем определяют режим каждой операции технологического процесса: температуру начала и конца деформации, тип машины (орудия для выполнения операции). Обе эти стадии разработки технологического процесса ОМД взаимосвязаны. Схема технологического процесса и режимы операций должны обеспечить: высокое качество изделий, высокую пластичность (что позволит осуществлять обработку с высокими степенями деформации и высокой производительностью), минимальные затраты энергии (силы деформации), высокий выход годного, минимальную стоимость передела [2]. Безусловно, выбор схемы технологического процесса изготовления того или иного вида металлоизделия зависит от ряда факторов: формы и размера изделия, пластических свойств материала, технических требований к изделию (физико-механические характеристики, чистота поверхности и точность геометрических размеров и др.), технические характеристики имеющегося (или необходимого) оборудования.

Известно, что обработка металлов давлением проводится в горячем и холодном состоянии. Горячую деформацию применяют, как правило, для обработки литого металла, при этом необходимая сила и расход энергии на деформацию гораздо ниже, чем при холодной деформации. Последние (финишные) операции ОМД осуществляют как в горячем, так и в холодном состояниях в зависимости от размеров изделия и технических требований, предъявляемых к ним. Холодная деформация в сочетании с последующей термической обработкой обеспечивает в металле: равномерную структуру и свойства, более высокое качество поверхности и точность геометрических размеров в сравнении с горячей деформацией. Также она является единственным способом упрочнения металлов и сплавов, а также создания текстуры. Бывают случаи, когда на некоторой стадии и при некоторой толщине изделия

переходят от холодной обработки к горячей. Размер поперечного сечения при принятии решения о переходе от горячей обработки к холодной зависит от ряда факторов: физико-механических свойств материала, технических характеристик оборудования и т. д. [2].

Форма и размеры металлоизделия, физико-механические свойства обрабатываемого материала, а также технические требования к готовой продукции во многом определяют характер и вид финишной операции ОМД. В редких случаях за одну операцию ОМД слиток можно превратить в требуемое металлоизделие, обычно необходимо проведение нескольких переходов. В каждом переходе может быть один или несколько проходов, т. е. единичных операций ОМД (например, единичное обжатие за один удар бойка молота и т. п.). После выбора вида и характера финишной (заключительной) операции определяется вид и характер всех операций, начиная от слитка до готовой продукции, т. е. разрабатывается сквозная (только в «урезанном» виде) схема технологического процесса. Для обеспечения максимальной производительности оборудования стремятся применять максимальные единичные деформации, которые определяются рядом факторов: пластичность материала, необходимость получения мелких и равномерных по величине зерен (с учетом неравномерности деформации, особенно в заключительных проходах), силовыми параметрами оборудования (с учетом данных о влиянии температуры, скорости и степени деформации на сопротивление деформации), величиной необходимой силы в некоторых процессах ОМД, требованиями по точности размеров и чистоте поверхности [2].

Анализ применяемых методик расчета режимов операций.

В практических условиях возможны несколько вариантов технологического проектирования процессов обработки металлов давлением в рамках:

- 1) Существующего и действующего специализированного предприятия с четко установленной номенклатурой выпускаемых изделий, современной технологией и оборудованием;
- 2) Инновационно-инвестиционного проекта, направленного соответственно на реконструкцию, расширение, модернизацию или техническое перевооружение в условиях действующего предприятия;
- 3) Инновационно-инвестиционного проекта, направленного на создание нового производства.

По *1 варианту* технологический процесс разрабатывается с учетом производственных возможностей предприятия и существующего опыта на производстве.

По *2 варианту* технологический процесс должен быть разработан с учетом имеющейся инфраструктуры, производственных возможностей предприятия и существующего мирового передового опыта.

По *3 варианту* технологический процесс должен быть разработан с учетом последних достижений научно-технического прогресса и мирового передового опыта.

Следует также учитывать, что практически на каждом действующем предприятии (по *варианту 1*) на протяжении длительного времени его функционирования сложились свои традиции и свои квалифицированные кадры по технологическому проектированию, при этом, безусловно, используются классические методы и методики, правила и подходы, но с индивидуальными особенностями с учетом специфики производства. Это связано с тем, что даже родственные предприятия с идентичной продукцией, могут иметь и имеют некоторые различия в оборудовании и, соответственно, в технологии.

В случае реализации проекта по *варианту 2* также вносится своя специфика, даже если будет тиражироваться существующая передовая технология и оборудование.

Проект по *варианту 3* дает возможность в полной мере реализовать все самое передовое: оборудование, технология, системы организации и управления производством. В этом случае появляется реальная возможность максимально использовать самую надежную и проверенную научно-методологическую базу по технологическому проектированию.

Современный уровень качества металлопродукции, появление новых материалов с особыми свойствами, прогрессивные системы управления производством с применением АСУП и АСУТП требуют новых подходов к технологическому проектированию для обеспечения стабильных режимов технологических операций с целью повторяемости качественных показателей.

Проблемы и перспективы развития технологического проектирования на новом уровне в процессах КШП.

Сложность управления развитием кузнечно-штамповочного производства (КШП) состоит в том, что машиностроение является отраслью промышленности, имеющей длительный инновационный цикл и значительную наукоемкость продукции. Между тем, рациональное решение по выбору вариантов технологии часто определяется на ранней стадии производственного цикла продукта – заготовительной, реализуемой в КШП. Для решения задачи совершенствования управления развитием КШП при выборе вариантов производственных процессов необходима разработка и внедрение новой системы оценки с учетом современных экономических условий деятельности предприятия и необходимости разработки новых методологических подходов к поиску рациональных решений по развитию КШП, определяющих способность машиностроительных предприятий к выпуску конкурентоспособной продукции. Однако имеющиеся разработки не учитывают в полной мере особенности оценки эффективности решений при выборе вариантов технологических процессов, относящихся к КШП, не позволяют определять более эффективный вариант совершенствования технологического процесса на основе минимизации совокупных затрат по всем стадиям машиностроительного производства. Необходима разработка методических и практических предложений по совершенствованию управления развитием КШП на основе минимизации совокупных затрат [3].

Совершенствование и дальнейшее развитие металлургического и машиностроительного комплекса на базе научно-технического прогресса является актуальной задачей. Особое внимание при её решении должно быть уделено созданию и освоению технологических процессов, позволяющих существенно повысить как производительность труда, так и качество выпускаемой продукции. Стремление исследователей к максимальному снижению расхода материала, повышению производительности труда и качества изделий привело к появлению новых методов формообразования в процессах ОМД, к которым можно отнести процессы штамповки газообразными, эластичными и жидкими средами.

В настоящее время количественные методы исследования проникают практически во все сферы человеческой деятельности, а математические модели становятся средством познания основных закономерностей реального мира. Математическое моделирование является наиболее совершенным и эффективным методом моделирования, открывая путь для применения современных мощных методов математического анализа, вычислительной математики и программирования при исследовании и оптимизации технологических процессов. Современная форма математического моделирования – это моделирование на компьютере. Вычислительные машины дали учёным мощное средство для математического моделирования. Развитие методов математического моделирования и оптимизации процессов ОМД в сочетании с широким внедрением персональных компьютеров позволяют создавать уникальные программы, позволяющие в автоматизированном режиме моделировать процессы пластического формоизменения, исследовать напряжённо-деформированное состояние, температурные поля при обработке металлов давлением [4].

Проектирование технологического процесса (ТП) является сложной инженерной задачей, в решении которой участвуют различные специалисты отдела главного металлурга машиностроительного предприятия (технолог, термист, нормировщик). Основная проблема создания САПР ТП связана со слабой формализацией предметной области. Каждое предприятие опирается на собственные традиции и производственный опыт, поэтому разрабатываются системы, ориентированные на конкретное предприятие. Повышая интеллектуальность

системы, можно решить проблему улучшения ее адаптации к условиям разных предприятий. Авторами [5] предлагается использовать агентно-ориентированную парадигму к построению САПР ТП изготовления поковок. Согласно данной парадигме, система представляется в виде агентов, являющихся автономными программными сущностями, способными взаимодействовать друг с другом или окружающей средой в интересах достижения поставленных целей. Агенты аккумулируют знания о предметной области, и их набор определяет возможности системы. Агенты могут свободно вводиться и выводиться из системы, благодаря чему достигаются ее высокая функциональная масштабируемость и адаптируемость. В отличие от объектно-ориентированного подхода, рассматривающего объекты и их взаимоотношения, агентно-ориентированный подход оперирует агентами, формирующими собственное поведение и находящимися на более высоком уровне сложности по отношению к традиционным объектам в объектно-ориентированном программировании.

Корректное решение задачковки требует правильной постановки граничных условий, в частности, формы и геометрических размеров контактных поверхностей инструмента с заготовкой. На всем этапе деформирования от момента соприкосновения технологического инструмента с поверхностью заготовки до ее завершения, форма и размеры контактной поверхности постоянно изменяются, меняются и механизмы ее приращения. Оценить формоизменение контактных поверхностей для заготовок при заданных величинах контактного трения и его распределения по поверхности на основании обширных и достоверных экспериментальных и теоретических исследований не составляет сложности. При поиске оптимальных технологических параметров процессовковки: величин деформаций и относительной подачи, исходят из минимизации растягивающих напряжений в осевой части поковки. Анализ очага деформации, тензора напряжений в каждой его точке показывает, что именно в осевой зоне развиваются растягивающие напряжения, величина которых может превысить напряжения предела прочности данного металла. Известно, что эти зоны характеризуются пониженной прочностью вследствие объективных закономерностей кристаллизационных процессов. Снижение этих растягивающих напряжений гарантирует отсутствие макро- и микротрещин осевых зон поковок в ковном металле.

Разработка теоретических основ расчета процессов КШП включает расчеты в каждой точке пластического очага деформации компонент тензора напряжений в зависимости от локальной внешней нагрузки и определение через тензор деформаций средних напряжений с учетом упрочнения материала, а при нагреве и с учетом и термических напряжений. Это дает возможность оценить характер напряженно-деформированного состояния в очаге деформации в процессе пластического формоизменения заготовки. Оптимизация технологических параметров с целью уменьшения растягивающих напряжений в очаге деформаций позволяет проектировать технологические процессы получения качественного металла поковок.

К числу наиболее актуальных проблем технологии листовой штамповки относятся применение процессов чистовой вырубki и пробивки с дополнительной локализацией деформации, штамповка с применением эластичных сред. Масштабы применения холодной объемной штамповки значительно меньше, чем листовой штамповки. Однако она получает постоянно возрастающее применение практически во всех отраслях машиностроения, особенно в автомобильной промышленности. Расширяется выпуск оборудования, удовлетворяющего техническим требованиям, увеличивается объем производства сталей и сплавов, соответствующих технологическим требованиям холодной объемной штамповки.

Одной из основных задач, стоящих перед КШП, является экономия металла. В решении проблемы ресурсосбережения важная, если не основная, роль принадлежит работникам кузнечно-штамповочного производства. Основной резерв экономии металла в кузнечно-штамповочном производстве является сокращение отходов металла при формообразовании поковок, получаемых ковкой и горячей штамповкой. Чтобы экономить металл в кузнечно-штамповочном производстве, необходимо внедрять металлосберегающие технологии, сокращать отходы при раскросе металла на мерные заготовки и безвозвратные потери на окалинообразование, рационально выбирать форму и размеры исходной заготовки и т. д. Дальнейшее

совершенствование процессов КШП, обеспечивающее более широкое их использование в машиностроении, направлено на получение поковок с размерами и формой, приближающимися к размерам и форме готовых деталей, идущих на сборку. Это ведет к уменьшению объема обработки резанием, снижению потерь металла в стружку, повышению производительности труда и снижению себестоимости продукции. В ряде случаев обработка резанием вытесняется высокоточными процессами обработки давлением с существенным повышением технико-экономических показателей производства. Специальные виды штамповки позволяют получать готовые изделия (заклепки, болты, штифты, гайки и др.), а также детали машин (лопатки турбин, шестерни, ступенчатые и кулачковые валы и др.), почти не требующие дополнительной обработки резанием. Современные горячештамповочные автоматы обеспечивают малоотходную штамповку достаточно точных поковок, таких, как шестерни, кольца, фланцы, болты, гайки и т.п., из прутков диаметром до 80 мм с производительностью до 70 штук в минуту.

Кузнечно-штамповочные цехи оснащают все более мощным, производительным и точным оборудованием. Все шире внедряются механизация и автоматизация процессовковки и штамповки. На базе современных достижений электронной и вычислительной техники создаются принципиально новые системы управления машинами и технологическими процессами, применяются различные манипуляторы, роботы и др. На некоторых заводах внедрены устройства программного управления для контроля и обеспечения точных размеров поковок. Усовершенствованы режимыковки с применением более совершенных конструкций бойков. Внедряетсяковка с неравномерным нагревом заготовок, при которой наибольшая деформация сосредоточивается в нужном участке объема заготовки с целью повышения качества металла, что особенно важно для крупных слитков. Расширяются возможности увеличения наибольшей массы откованных поковок до 400 т и более.

В результате реконструкции отдельных заводов, введения новых производственных мощностей увеличиваются масштабы выпуска поковок цехами кузнечного производства. При этом создаются благоприятные возможности для специализации производства поковок при сокращении номенклатуры выпускаемых поковок для каждого из цехов в соответствии с возможностями данного производства (тип, размер и число единиц оборудования). В этих условиях уменьшается стоимость изготовления поковок и повышается производительность труда за счет применения специализированного оборудования, комплексной механизации и автоматизации, внедрения более совершенной технологии и прогрессивных методов организации труда. Хотяковка и уступает горячей штамповке по производительности и точности поковок, однако имеет свою рациональную область применения. Это, прежде всего, выпуск малых серий поковок небольшой и средней массы, когда изготовление дорогостоящих штампов для горячей штамповки экономически нецелесообразно. В таких случаях более экономичнаковка на молотах универсальным инструментом – бойками. Крупныековки (особенно массой десятки и сотни тонн) удается изготавливать толькоковкой на гидравлических прессах.

В современном производстве расширяется область применения процессов, основанных на холодной пластической деформации, позволяющих получать точные размеры заготовок, высокое качество поверхности, а, следовательно, сократить, а иногда и полностью исключить припуски на обработку резанием, т. е. обеспечить энергосберегающую малоотходную или безотходную технологию. Деформационное упрочнение, проводимое, при необходимости, одновременно с термической обработкой, позволяет получать детали с заданными эксплуатационными свойствами. Наиболее эффективны процессы, основанные на применении холодной пластической деформации, – процессы листовой и холодной объемной штамповки.

Благодаря непрерывному совершенствованию технологии, конструкций штампов, используемого оборудования и средств его автоматизации листовая штамповка применяется в настоящее время для изготовления деталей широкого интервала размеров (от долей миллиметров до нескольких метров), разнообразных конфигураций (от простейших плоских

типа шайбы и уголка до сложных пространственных типа кузовных деталей автомобиля и облицовочных деталей самолета). Наряду с этим проводится значительная работа по освоению и созданию новых технологических процессов и коренному совершенствованию существующих, разработке и применению автоматизированных систем подготовки производства (САПР).

ВЫВОДЫ

Совершенствование теоретических основ расчетов процессов КШП и создание надежных методов описания прогнозируемых параметров технологических процессов с учетом влияния основных факторов является актуальной научно-технической проблемой. Применение методики выбора вариантов технологии помогает сократить затраты на весь объем производства, а, следовательно, увеличить интегральный эффект реализации технологических процессов кузнечно-штамповочного производства. Недостаточность обоснования расчетов технологических параметров процессов КШП как при проектировании технологического процесса, так и при его реализации, сводит КШП к искусству и опыту отдельных ученых и их научных школ. Разработка методических рекомендаций на основе системной динамической оценки эффективности инноваций позволяет минимизировать совокупные затраты на заготовительной и механической стадиях производства. Это дает возможность выбирать более эффективные варианты реализации технологического процесса, разрабатывать математические модели, учитывающие оперативные издержки при производстве деталей в машиностроении, зависящие от стойкости инструмента. Решение проблемы проектирования рационализации технологических процессов КШП, создание единой теоретической базы для их расчета в настоящее время не может ограничиться различными эмпирическими моделями, построенными на анализе и обобщении производственного опыта. Проводятся интенсивные работы по усовершенствованию проектно-конструкторских и технологических разработок. Применение машинных способов проектирования технологии, оснастки и оборудования позволяет оптимизировать поиск технических решений и значительно повысить уровень кузнечно-штамповочного производства в ближайшем будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Проектирование современных производств обработки металлов давлением / Ю. Н. Стасовский, Ю. С. Кривченко, Г. С. Бабенко; под ред. д-ра техн. наук Ю. Н. Стасовского. – Днепропетровск : МОНОЛИТ, 2009. – 746 с.*
2. *Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением / Н. П. Громов. – М. : Металлургия, 1978. – 360 с.*
3. *Горячева О. Е. Управление развитием кузнечно-штамповочного производства предприятия на основе минимизации затрат : дис. канд. экон. наук : 08.00.05 / О. Е. Горячева. – Челябинск, 2005. – 224 с.*
4. *Белов М. И. Эффективность использования математического моделирования при исследовании, оптимизации и проектировании технологических процессов ОМД / М. И. Белов // Пластическая деформация сталей и сплавов. – М. : Московский государственный институт стали и сплавов, 1996. – С. 224–227.*
5. *Коновалов А. В. Агентный подход в САПРковки коротких поковок / А. В. Коновалов, П. Ю. Гагарин, С. Д. Шалыгин // Программные продукты и системы. – 2011. – № 1. – С. 127–135.*

Стасовский Ю. Н. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Чухлеб В. Л. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: omd2004@i.ua