

ЧУХЛЕБ В.Л., доц., канд. техн. наук, доц. НМетАУ, Днепропетровск
ТУМКО А.Н., канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ по передельному
производству ПАО «Днепроспецсталь», Запорожье
АШКЕЛЯНЕЦ А.В., канд. техн. наук, доц. НМетАУ, Днепропетровск

**ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ С
ПРОГНОЗИРУЕМЫМ УРОВНЕМ КАЧЕСТВА
МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ**

В работе представлены преимущества прогнозирования и управления качеством металлопродукции на уровне предприятия, а именно повышения эффективности кузнечно-прессового производства, вследствие формирования требуемого качества и технологических свойств металла при минимальной себестоимости.

В роботі представленні переваги прогнозування та управління якістю металлопродукції на рівні підприємства, а саме підвищення ефективності ковальсько-пресового виробництва, внаслідок формування необхідної якості та технологічних властивостей металу при мінімальній її собівартості.

This paper presents the advantages of forecasting and management of quality steel products at the enterprise level, namely, improving the efficiency of forging production, due to the formation of the desired quality and technological properties of the metal at a minimum cost.

Прогнозирование и управление качеством металлопродукции имеет целью установление, обеспечение и поддержание качества поковок на уровне стандартов. Управление качеством решается на уровне предприятия и имеет своей целью повышение эффективности кузнечно-прессового производства, во-первых, вследствие формирования требуемых технологических свойств металла, во-вторых, формирования требуемого качества поковки при минимальной ее себестоимости.

Задача прогнозирования и управления технологичностью металла при ковке и показателями качества поковок не является новой. Она возникла и развивалась вместе с процессамиковки. С увеличением объема производства поковок возрастает объем брака и непроизводственные потери. Повышаются требования к качеству поковок. Качество продукции должно отвечать требованиям международных стандартов и уровню достижений науки и техники. Становится все очевиднее, что традиционный контроль качества технологического процесса (документации) и поковок не удовлетворяет возросшим современным требованиям. Задача состоит в том, чтобы качество не только контролировать, но и управлять процессом его формирования, обеспечивать технические и экономические требования потребителей поковок.

Решение задачи управления качеством требует системного подхода, учета всех этапов производственного цикла, включая технологическую подготовку производства, формирование слитка, изготовление поковок и детали из нее,

контроль качества. Управление качеством предполагает на этапе конструкторской подготовки производства тесное взаимодействие конструктора, технолога и материаловеда; на этапе изготовления – взаимодействие технолога, мастера и исследователя.

Задачу повышения качества поковки необходимо формулировать исходя из конкретных условий. Можно выделить две постановки задачи:

1) Существенное повышение качества поковки, сопровождаемое изменением технических требований (стандарта).

2) Обеспечение качества, регламентируемого стандартом, при наилучших технико-экономических показателях производства.

Качество поковки предопределяется качеством исходного (литого) металла и изменяется в процессе теплового и пластического воздействия на металл в зависимости от изменения во времени главных технологических факторов процесса обработки (температуры, напряжений, деформаций). Путей такого воздействия может быть множество. При технологическом проектировании выбирают один из них – оптимальный для фиксированного исходного качества металла. Таким образом, главными факторами, определяющими качество поковки, являются исходное качество металла и режим изменения температуры, напряжений и деформаций.

Традиционно формирование качества при изготовлении поковки сводится к поддержанию качества слитка и изменению главных технологических параметров в заданном (проектном) диапазоне. Оптимизацию проектного технологического процесса строят по принципу гарантирования требуемого качества при самых неблагоприятных сочетаниях главных факторов. Как правило, оценку соответствия фактических показателей качества поковки технологическим требованиям осуществляют на финише. На ранних стадиях изготовления брак обнаруживается лишь при явном разрушении металла. Скрытый брак проходит весь цикл производства.

Управление качеством повокки имеет новизну в том, что из всех возможных путей теплового и пластического воздействия на металл в качестве оптимального выбирается тот, который обеспечивает требуемую технологичность металла и качество повокки при более строгом фиксированном диапазоне изменения главных факторов качества. В процессе изготовления повокки ведут контроль этих главных факторов. В случае отклонения их от нормы технологический процесс на последующих стадиях обработки корректируют во избежание получения брака в пределах оставшихся путей теплового и пластического воздействия. Именно в этом подходе реализуется принцип «требуемое качество при простейшей технологии».

Качество оценивают соответствием фактических показателей процесса проектным на каждой стадии изготовления. По этой оценке вырабатывают меры воздействия на качество через управляемые факторы на последующих стадиях производства.

Важнейшие управляемые технологические факторы на всех стадиях обработки – температура, степень и скорость деформации металла. Эти факторы в наибольшей степени влияют на формирование технологических свойств и

качество поковок. Они достаточно легко фиксируются и гибки в управлении. Велико значение также теплового режима.

Качество поковки зависит от микроструктуры стали, оцениваемой величиной и однородностью зерна. Сталь с мелкозернистой микроструктурой имеет более высокие механические и эксплуатационные свойства. Поэтому технологический процесс проектируют так, чтобы обеспечить формирование поковки с однородной мелкозернистой структурой металла. Величина зерна в стали в общем случае предопределяется природой исходного металла и изменяется в процессе нагрева,ковки, охлаждения и термической обработки. Для проектирования оптимальной технологииковки необходимо учитывать влияние всех операций тепловой и пластической обработки на формирование микроструктуры кованого металла. Недооценка роли отдельных операций приводит к непроизводительным затратам.

Важным фактором формирования качества поковки является степень деформации. Во-первых, деформация приводит к заковке усадочных дефектов и повышению плотности металла; для получения плотного металла необходима некоторая минимальная величина деформации. Роль тепловой обработки в этом невелика. Во-вторых, деформация способствует разрушению литой структуры, измельчению крупного зерна перегрева. Но на эти процессы влияет также и температура. Поэтому необходимо оценивать влияние обоих факторов и с их учетом оптимизировать процесс и управлять качеством поковки.

Роль напряжений в формировании качества поковок проявляется в меньшей степени. Лишь при ковке малопластичной стали этот фактор приобретает решающее значение. Однако его можно учесть при проектировании технологии путем выбора рационального ковочного инструмента и режимаковки. Управлять напряжениями в процессе изготовления поковки труднее, чем температурой и деформацией.

Можно сделать вывод о том, что научная основа управления базируется на методах прогнозирования качества, которое как составная часть технологического проектирования связано с использованием математических моделей, описывающих деформации и температуру обрабатываемого металла и связь с ним и свойств, и структуры металла. При этом для экономичности и оперативности используют не сами модели, а рекомендации. Модели же могут быть использованы для проведения вычислительного эксперимента как средство для разработки научно обоснованных рекомендаций.

При ковке поковок качество металла, его макроструктура, сплошность и механические свойства изменяются в зависимости от степени деформации.

При изучении влияния степени деформации на свойства поковки следует пользоваться понятиями: уков за операцию, уков за вынос и общая величина укова за весь процесс изготовления поковки.

Понятие общего укова имеет физический смысл лишь при последовательном выполнении ряда однородных операций, например при выполнении протяжки за несколько выносов. Если при изготовлении поковки применяются разнородные операции, например, осадка и протяжка, то между результирующей (общей) деформацией и механическими свойствами металла нет

однозначной связи, как при ковке с применением только протяжки или только осадки. В этом случае нет смысла рассчитывать общую величину укова, характеризующую суммарную деформацию при протяжке и осадке. Между тем в заводской практике в таких случаях нередко производят расчет общего укова. В одних случаях общий уков определяется как произведение величин укова при протяжке и осадке, в других – как их сумма. В обоих случаях величина общего укова не может дать представление о качестве кованного металла, в частности о его механических свойствах.

Для оценки качества поковки в зависимости от степени деформации при разнородных операцияхковки (осадки и протяжки) необходимо знать последовательность выполнения этих операций и величину деформаций в каждой из них.

В результате неравномерности деформации как при протяжке, так и при осадке величина местной деформации (местного укова) по сечению и длине поковки может быть различной, в то время как отношение площадей поперечных сечений заготовки и поковки дает лишь понятие о средней деформации (укове).

Если поковка в достаточной степени продеформирована при заготовительных операциях, то влияние величины укова на макроструктуру и механические свойства металла за последний вынос (т.е. при отделочных операциях) резко уменьшается. В этом случае термомеханический режимковки за последний вынос, в частности величина укова и температурный интервалковки, определяют главным образом микроструктуру и связанные с ней механические свойства металла. Однако последующая термообработка может полностью снять эффект влиянияковки на микроструктуру металла.

Величина укова за последний вынос с учетом температурного интервалаковки оказывает существенное влияние на качество поковки в том случае, когда:

1. Поковка не подвергалась термообработке с перекристаллизацией структуры;
2. Поковка изготавливается из инструментальной заэвтектоидной и ледибуритной стали;
3. Поковка изготавливается из стали, не имеющей фазовых превращений.

Влияние общей величины деформации на качество металла в значительной мере зависит от механических условийковки. Под механическими условиямиковки следует понимать совокупность основных технологических параметров (относительная подача, форма бойков и заготовки, степень единичного обжатия и т.д.), определяющих схему напряжений и деформаций в металле.

При разработке технологического процессаковки перед технологом встает задача получить поковку высокого качества при минимальной трудоемкости. Для этого необходимо установить минимальную величину укова, при которой обеспечиваются высокие механические свойства металла и заварка дефектов усадочного происхождения.

В настоящее время технолог не располагает всеми необходимыми данными для наилучшего решения этой задачи с учетом максимальных рабочих напряжений, испытываемых деталью, ответственности и назначения поковки.

В технических условиях на поковки обычно задаются механические свойства, которые определяются на образцах, вырезанных из определенных участков поковки. Стандарт устанавливает группы поковок и основные технические требования к приемке и поставке их. Исходным материалом для изготовления поковок могут служить слитки, кованные или катанные заготовки, а также заготовки с МНЛЗ.

Наличие поверхностных дефектов не является единственной причиной неудовлетворительного качества поковок. Анализ заводской документации показывает, что при ультразвуковом контроле в поковках иногда обнаруживаются и внутренние дефекты – продольные или поперечные трещины. По этой причине на предприятиях бракуется значительное количество поковок.

Установлено, что в большинстве случаев причиной разрушения поковок наряду с неудовлетворительным качеством поверхности исходных слитков является несовершенство технологииковки, несовершенство существующего инструмента и оборудования, а также неоптимальных режимов выполнения основных кузнечных операций (осадка, протяжка и т.д.).

Все это свидетельствует о важности мероприятий, направленных на улучшение качества поковок, изготавливаемых методами свободнойковки.

При подборе соответствующих условий горячей пластической деформации металл может обладать наибольшей технологической пластичностью и заданными механическими свойствами. Все процессы и явления, сопровождающие пластическую деформацию, от которых зависит пластичность и другие механические свойства деформируемого металла, можно варьировать в желаемом направлении, изменяя термомеханические факторы: напряженное состояние, схему деформации, температуру, степень и скорость деформации.

В целом свойства поковки обеспечиваются:

1. Выбором соответствующей марки стали;
2. Исходным качеством слитка, зависящим от метода выплавки, условий кристаллизации и т.д.;
3. Условиями нагрева и температурным интерваломковки;
4. Термомеханическим режимомковки;
5. Термической обработкой поковок.

Таким образом, качество поковок обуславливается всем технологическим процессом их изготовления.

Для области обработки металлов давлением наиболее существенным является термомеханический режимковки. При пластической деформации слитка происходит изменение плотности металла, его макроструктуры и механических свойств. В производственных условиях основным показателем, позволяющим технологам в какой-то степени судить о получении требуемых свойств металла в результатековки, является величина укова. Однако исследования показывают, что при одной и той же степени укова механические свойства поковки изменяются в зависимости от механического режимаковки. Но в заводской практике обычно это не учитывается, так как механический режимковки изучен недостаточно.

Разработанный технологический процессковки должен отвечать требованиям технологичности и оптимальности применительно к конкретным условиям кузнечного производства.

Проектирование технологического процессаковки включает следующие операции:

- выбор схемыковки и определение переходов с учетом требований к качеству поковки; при этом рассматриваются все технологически возможные варианты;
- выбор нормализованного подкладного инструмента или конструирование нового;
- определение размеров заготовки и выбор предпочтительного вида заготовки (слиток, прокат, кованная заготовка) с учетом заводского сортамента;
- выбор основного технологического оборудования (пресс, молот);
- назначение температурного интервалаковки;
- назначение режима охлаждения поковки;
- расчет нормы времени наковку;
- расчет технико-экономических показателей процессаковки (норма расхода металла, выход годного и другие показатели расхода металла, себестоимость поковки);
- выбор оптимального вариантаковки из технологически возможных.

Процесс проектирования технологии осложняется тем, что на большинстве заводов в той или иной мере отсутствуют руководящие материалы, предписывающие правила решения отдельных технологических вопросов, нормативные материалы по отдельным технологическим вопросам, нормализованный инструмент, типовые технологические документы. Это приводит к субъективизму в решении многих технологических вопросов и снижает качество технологических разработок и соответственно технико-экономические показатели кузнечного производства.

Следовательно, необходима разработка научно обоснованной методики проектирования технологииковки с учетом обобщенного производственного опыта и последующее внедрение этой методики на различных заводах.

Разработка автоматизированного проектирования технологииковки должна включать следующие этапы:

1. Анализ номенклатуры поковок кузнечных цехов и классификацию поковок.
2. Унификацию технологических схемковки, рассматриваемой группы поковок.
3. Проведение специальных исследований для обоснования решений малоизученных технологических вопросов.
4. Разработку методики проектирования технологииковки.
5. Упорядочение нормативно-технической информации и технологической документации, используемой при проектировании технологииковки.
6. Промышленное опробование разработанной методики проектирования технологииковки.

Настройка типовой системы автоматизированного проектирования технологииковки для любого завода будет возможна, если эта система учитывает динамику конкретных условий производства. Недооценка этого положения снижает жизнеспособность системы, затрудняет ее внедрение и может оказаться причиной ее нереальности.

На металлургических заводах, производящих специальные стали и сплавы, имеется разнообразное технологическое оборудование для деформации слитков и заготовок. Например, на ПАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье) имеются четыре гидравлических прессы усилием от 5 до 60 МН, радиально-ковочные машины РКМ-1000 и РКМ-340 с усилием 10 и 3,4 МН на каждый боёк соответственно, молота с массой падающих частей 3 т.

В марочный сортамент предприятия входят труднодеформируемые стали и сплавы, традиционная деформационная схема которых включает ковку слитков на прессах с дальнейшим переделом на других ковочных агрегатах или на прокатных станах. Используется также схема, включающая прокатку слитков на первом этапе и ковку катаных заготовок на прессах или радиально – ковочных машинах на втором этапе деформирования. Выбор технологической схемы определяется, главным образом, требованием к качеству продукции. Вторым критерием выбора способа деформирования слитков и заготовок является экономическая целесообразность той или иной схемы.

Ковка обеспечивает индивидуальные условия деформирования каждого слитка и заготовки за счет оперативного изменения режимов деформации в зависимости от технологической пластичности стали. При ковке на прессах и молотах применяют промежуточные подогревы поковок до температур максимальной пластичности металла, промежуточную обдирку для удаления образующихся поверхностных дефектов или вырубку дефектов в горячем состоянии. Кроме этого, ковка на прессах и молотах обеспечивает идеальную схему трёхстороннего сжатия по всему сечению профиля. В результате этой обработки получаемая металлопродукция характеризуется высоким качеством поверхности и интенсивной проработкой осевой зоны заготовки.

Однако при всех достоинствах ковка является технологическим процессом с большими потерями металла в угар, окалину, кусковые отходы, абразивную пыль и стружку, что обуславливает высокую себестоимость поковок.

Необходимое качество структуры и уровень механических свойств ковкого металла обеспечивается соответствующими термическими обработками: закалкой, нормализацией, отжигом, улучшением (закалкой с последующим высоким отпусканием),- которые проводят по окончании процессаковки или после изготовления детали методом резания. Поэтому структура и свойства стали, полученные в результатековки и последующего последеформационного охлаждения, претерпевают значительные изменения при термообработке.

Для сталей ледебуритного класса степень и температурно-скоростные условия деформации определяют такой важнейший показатель качества этих сталей как карбидную неоднородность, уменьшение которой позволяет повысить качество стали по другим показателям качества – по размеру аустенитного зерна, по механическим свойствам, по износостойкости и другим.

С целью прогнозирования качества продукции и карбидной неоднородности прутков стали ЭИ347-Ш (8Х4В9Ф2-Ш), предназначенной для изготовления тяжело нагруженных теплостойких подшипников к авиационным двигателям в условиях ПАО «Днепроспецсталь» проводятся исследования многофакторного воздействия на структуру прутков диаметром 45-105 мм стали ЭИ347-Ш, деформационная схема производства которых включает ковку металла на прессах, радиально-ковочных машинах, молотах и прокатку на стане 550 [7]. Число операций деформирования на названных агрегатах изменяется от 2 до 5 и в зависимости от размеров профиля образует совокупность из 126 возможных схем. Каждая из них обеспечивает получение целого ряда профилей. Технологические агрегаты снабжены нагревательными устройствами разного типа и также носит различный характер температурное воздействие на металл. Фактическое содержание основных легирующих элементов в стали может отличаться на 10-20 % относительно среднего значения. Варьирование содержания химических элементов в пределах марочного состава приводит к колебаниям степени карбидной неоднородности в пределах 1-2 баллов. Степень карбидной неоднородности у прутков одной плавки колеблется тоже в пределах двух баллов.

При исследовании определяли значимость температурного и деформационного воздействия на карбидную неоднородность структуры металла одного химического состава. В рамках одной из технологических схем деформирования изучали изменения структуры стали после каждой операции (рис.1): после электрошлакового переплава, гомогенизирующего ступенчатого нагрева,ковки на РКМ-1000 с уклоном 2,4; нагрева иковки на РКМ-340 с уклоном 2,2, а также после отжига. Карбидную неоднородность оценивали по шкале ТУ 14-1-2244-77. Результаты анализа показали, что с увеличением суммарной степени деформации карбидная неоднородность уменьшается (рис.1,б - при этом в центре поковки она больше, чем в периферийных слоях) и целесообразно использовать гомогенизирующий ступенчатый нагрев, при котором достигается более равномерное распределение карбидной фазы по сечению слитка и более тонкая карбидная сетка (см. рис. 1,а). Вместе с тем нагрев заготовок до 1160 °С перед ковкой на РКМ 340 практически не влияют на распределение карбидной фазы в объеме металла.

В соответствии с полученными результатами исследования в дальнейшем ограничили совокупность рассматриваемых факторов химическим составом стали, а также величиной суммарного уклона и уклонов в пределах каждой технологической операции. Выборку исходных данных сформировали по результатам анализа условий производства прутков диаметром от 45 до 105 мм из 229 плавков.

В результате обработки данных получили адекватные (для 5% уровня значимости критерия Фишера) зависимости, отображающие изменения средней для плавки степени (балла) карбидной неоднородности Y_1 и величины разброса значений степени карбидной неоднородности в пределах одной плавки Y_2 при варьировании технологических факторов. Аналитическое представление показателя Y_1 характеризуется среднеквадратическим отклонением аппроксимированных результатов от экспериментальных значений равным 0,33 и

коэффициентом корреляции между ними 0,742; соответствующие показатели для Y_2 составили 0,167 и 0,62. Установили, что на уровень Y_1 в большой степени влияют деформационные факторы, а на уровень Y_2 – химический состав стали.

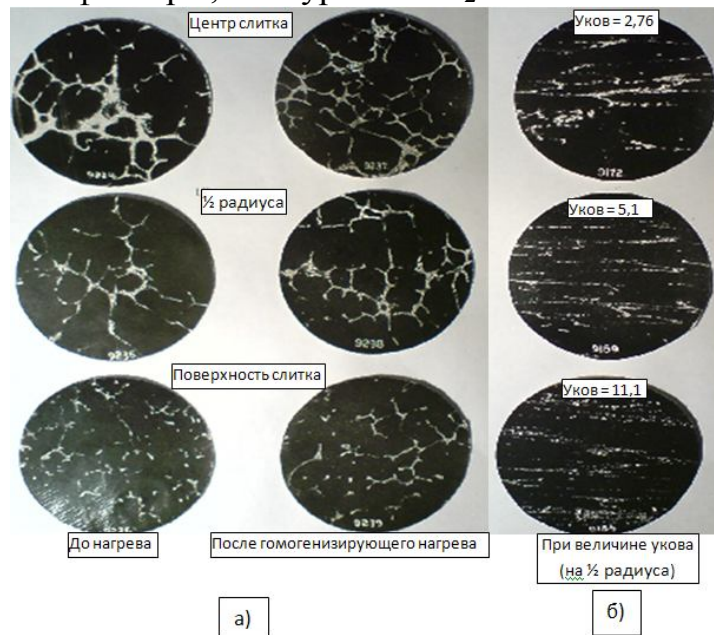


Рис.1. Микроструктура слитка (а) и поковки (б) из стали ЭИ347-Ш

В результате анализа графиков построенных по полученным зависимостям обнаружили, что средняя величина карбидной неоднородности возрастает с увеличением степени деформирующего воздействия на заготовку. Выявили также неравномерное изменение степени карбидной неоднородности при варьировании химического состава: она практически не изменяется при содержании вольфрама, ванадия и углерода в пределах от минимального уровня до среднего, но резко возрастает при содержаниях больше среднего. Суммарное варьирование содержанием этих элементов при одинаковом деформационном воздействии может приводить к изменению карбидной неоднородности на 1,5 балла. Интенсивное деформирующее воздействие может скомпенсировать влияние элементов химического состава, причём эффект достигается и при увеличении общего укова, и при перераспределении воздействия между деформирующими процессами. Наиболее предпочтительно сочетаниековки на РКМ с последующей прокаткой, когда при деформации наиболее интенсивно дробятся хрупкие эвтектические скопления, карбидная сетка и достигается более равномерное распределение карбидов, особенно на $\frac{1}{2}$ радиуса круга, где по техническим условиям контролируется карбидная неоднородность.

Направленное варьирование деформационных факторов может в значительной степени устранить негативное влияние на карбидную неоднородность повышенного содержания легирующих элементов. Результаты совместного воздействия на качество заготовок деформационных факторов и химического состава свидетельствуют о возможности эффективного управления уровнем карбидной неоднородности структуры в прутках как путём выбора операций деформирования, так и путём подбора профильного сортамента металлопродукции в зависимости от содержания карбидообразующих элементов.

Изменение степени карбидной неоднородности в заготовках в пределах каждой плавки определяется содержанием не только указанных элементов, но и марганца, кремния, фосфора, молибдена. Увеличение содержания молибдена, вольфрама и кремния усиливает разброс значений карбидной неоднородности для заготовок одной плавки, а увеличенное содержание углерода, фосфора и отчасти марганца действует в противоположном направлении.

Степень влияния одного элемента на изменение карбидной неоднородности металла одной плавки существенно зависит от содержания других элементов. Так, при минимальном содержании вольфрама изменение молибдена от 0,02 до 0,58 % не оказывает значительного влияния на стабильность уровня карбидной неоднородности, а при максимальном содержании вольфрама может вызывать разброс, оцениваемый двумя баллами. Максимальное содержание углерода в стали, равное 0,77-0,80 % полностью исключает изменение показателя Y_2 , а его минимальное содержание (0,71-0,75 %), наоборот, предполагает существенное воздействие молибдена на показатель.

Изложенные результаты используют на ПАО «Днепроспецсталь» для совершенствования технологического процесса производства прутков из стали 8Х4В9Ф2-Ш с целью стабилизации потребительских свойств металла, определяемых карбидной неоднородностью. Практика показывает, что для выбора оптимальных многооперационных деформационных схем при обработке заготовок этой стали целесообразно использовать полученные результаты в математической модели, реализуемой на ПЭВМ и эксплуатируемой в режиме «советчика». В этих случаях при заданном химическом составе плавок удаётся достаточно быстро определить эффективную технологию обработки давлением заготовок каждой плавки.

Расчёт оптимальных деформационных параметров и химического состава проводится путём минимизации функционала Φ , выражающего величину относительного среднеквадратичного отклонения расчётных значений степени карбидной неоднородности Y_{pi} , вычисленных по полученным регрессионным уравнениям [7] от требуемых показателей Y_{ti} :

$$\Phi = \sum_{i=1}^2 m_i \left(\frac{Y_{ti} - Y_{pi}}{Y_{ti}} \right)^2 \quad (1)$$

где m_i - весовой коэффициент, изменяющийся от 0 до 1 и отражающий важность i -той характеристики.

Минимизацию функционала осуществляется методом деформированного многогранника [8], который не требует регулярности и непрерывности целевой функции и существования производных. Вторым преимуществом данного метода поиска оптимальных параметров по сравнению с методами оптимизации, основанными на вычислении первых и при необходимости вторых производных, является меньшее время на подготовку задачи к решению. При этом поиск по деформированному многограннику несколько более сложный по сравнению с прямым поиском, однако он легко осуществим на ПЭВМ и это обстоятельство стало обоснованием его выбора для минимизации функционала (1).

Для расчёта технологических параметров методом поиска по деформируемому многограннику использовали известную программу [8], по которой производится поиск без ограничения пределов изменения переменных величин. Чтобы ограничить диапазон варьирования технологических параметров, перешли к новой системе переменных, образуемой с помощью следующего преобразования:

$$Y_i = \operatorname{tg} \left[\pi \cdot \frac{X_i - \frac{(B+A)}{2}}{B-A} \right], \quad (2)$$

где Y_i – неограниченная переменная; X_i – ограниченная переменная; A и B – пределы варьирования переменной X_i , $A < X_i < B$.

После расчёта деформационных параметров обработки давлением заданной плавки, обеспечивающих необходимый уровень карбидной неоднородности, производят построение технологической схемы производства заказываемой продукции и расчёт себестоимости. Используя приведенный метод расчёта технологии можно на стадии приёма заказа определять необходимые дополнительные затраты для достижения требуемого качества продукции.

Выводы: Повышение качества поковок, экономия энергоресурсов, повышение производительности труда за счет разработки и внедрения технологииковки на основе совершенствования технологических режимов, создания новой научно обоснованной методики проектирования и новых режимов деформирования является актуальной научно-технической задачей. Для того, чтобы научно обосновать технологию, необходимо установить количественные соотношения между основными термомеханическими факторамиковки, пластичностью и механическими свойствами стали. Важнейшим показателем качества металла, характеризующим эксплуатационную пригодность и надежностьковки, являются структура и механические свойства. Величиной механических свойств и их анизотропией в ковном металле можно управлять, изменяя либо качество литого металла (плотность стали, содержание и вид неметаллических включений и т.д.), либо величину и распределение деформаций в объеме металла путем выбора соответствующих граничных и температурных условий (формы заготовки и инструмента, относительной подачи и обжатия, схемы кантовки и переходов и др.). Решение проблемы качестваковки и эффективности производства должно быть связано с реализацией принципа «требуемое качество при простейшей технологии».

Список литературы: 1. Соколов Л.М. Технология кування / Л.М. Соколов, І.С. Алієв, О.Є. Марков, Л.І. Алієва // Краматорськ: ДДМА. - 2011. - 268 с. 2. Трубин В.Н. Система управления качеством проектирования технологических процессовковки / В.Н. Трубин, В.И. Макаров, С.Н. Орлов и др. – М. : Машиностроение. - 1984. - 184 с. 3. Ковка крупных поковок / Под ред. В.Н. Трубина. - М. : Машиностроение. - 1965. - 296 с. 4. Скрыбин С.А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием / С.А. Скрыбин - К. : КВИЦ. - 2004. - 346 с. 5. Тюрин В.А. Теория и процессыковки слитков на прессах / В.А. Тюрин. - М. : Машиностроение. - 1979. – 240 с. 6. Соколов Л.Н. Методика проектирования технологических процессовковки крупных поковок / Л.Н. Соколов, О.Е. Марков. – Краматорск : ДГМА. -2006. - 120 с. 7. Тумко А. Н. Улучшение качества деформируемых заготовок из стали 8Х4В9Ф2-Ш / А. Н. Тумко, В.В. Бринза, А. В. Коровин и др. - Сталь. – 1992. - № 5. - С. 70-74. 8. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М. : Мир. – 1975. - 536 с.