

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИ ШТАМПОВКЕ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бондарчук В.И.

Самарский Государственный Аэрокосмический Университет

Кафедра "Обработка металлов давлением"

Научный руководитель: д.т.н., проф. Михеев В.А.

Заданные эксплуатационные свойства штампованных деталей из листового материала формируются в производственно-технологических циклах прокатки и штамповки в результате определенной совокупности технологических решений. Принимаемые технологические решения не всегда в полной мере учитывают условия производства, что является причиной непостоянства формируемых свойств и, как следствие, сказывается на качестве изделия. Практика показала, что требуется учитывать не только физико-механические свойства материала, но и их направленность.

Направленность свойств определяет величину и характер анизотропии, деформационных характеристик листового проката и эксплуатационные свойства штампованных деталей в определенных направлениях. Кроме этого, направленность свойств обеспечивает управление технологическими процессами формообразования без разрушения и благоприятное технологическое наследование свойств.

Под технологическим наследованием подразумевают явление переноса свойств от предыдущих операций к последующим. Эти свойства могут быть как полезными, так и вредными. Сохранение свойств называют технологической наследственностью. В процессе передачи свойств важную роль играет так называемая наследственная информация [1].

Носителями наследственной информации являются материал, кристаллическая и зеренная структура. Носители информации активно участвуют в технологических процессах, проходя через различные операции прокатки и штамповки, испытывая воздействия технологических факторов. Но часто неизвестными оказываются текстурная морфология и параметры состояния, определяемые физико-механическими свойствами материала.

Поэтому при обосновании подхода направленного формирования свойств листового материала в процессе прокатки, необходимо выяснить сочетание показателей анизотропии, которые отвечают требованиям интенсификации операций листовой штамповки. Однако на интенсификацию операций листовой штамповки, кроме физико-механических характеристик материала (состав, тип кристаллической решетки, размер зерна, вид термообработки, анизотропия свойств и др.) существенное влияние оказывают технологические факторы, проявляющиеся в конкретных условиях выполнения операций (схема напряженно-деформированного состояния, сила контактного трения, скорость деформации, неравномерность деформации и др.).

Для разработки технологических процессов листовой штамповки нужна традиционная информация о физико-механических характеристиках материалов для определения допустимых степеней формоизменения и размеров исходной заготовки. Кроме перечисленных данных нужна нетрадиционная информация, определяемая технологическим наследованием. В любой технологической цепочке существуют своего рода «барьеры». Некоторые технологические факторы не могут преодолеть эти

«барьеры». В таком случае их влияние на эксплуатационные свойства изделия отсутствуют. Другие факторы, такие как «барьеры» проходят, но при этом значительно теряют свое влияние. До сих пор в качестве основных «барьеров» рассматриваются термические операции, что ограничивает управление технологическими процессами и их совершенствование.

Для обеспечения качества изделий следует управлять процессом технологического наследования. Полезные свойства нужно развивать, а отрицательные ослаблять. В ходе технологического процесса наследуются самые различные свойства обрабатываемой заготовки. Обнаружение структурных наследственных дефектов материалов часто происходит при их обработке.

Для практических целей важно установить не только качественные, но и количественные связи технологического наследования. В этом направлении можно достичь успеха не путем нагромождения обширного экспериментального материала, а, напротив, некоторыми фундаментально-теоретическими соображениями. Здесь может помочь системный анализ.

Эволюция свойств любых изделий всегда связана с технологическими процессами их изготовления. Каждый объект производства несет в себе следы всех воздействий, имевших место в прошлом. Данное обстоятельство замечено давно, и даже получило математическое выражение. Это означает, что все операции и их технологические переходы следует рассматривать, не изолировано, а во взаимосвязи.

Эксплуатационные свойства детали рассматриваются как совокупность предусмотренных стандартом показателей назначения и надежности изделия. Доказано, что они связаны с технологическими показателями качества и зависят от сочетания их значений. Кроме того, известно, что изменение свойств изделия связано с воздействием на объект производства технологических сред отдельных операций, а сохранение свойств обусловлено взаимодействием объекта производства с технологическими средами. При этом сама технологическая среда представляет совокупность объектов производства, взаимодействующих с выделенным объектом на отдельном этапе производства. В зависимости от уровня рассмотрения выделенным объектом могут быть: заготовка, деталь, технологическая операция, технологический процесс и т.д.

Технологическую наследственность рассматриваем и изучаем во взаимосвязи отдельных элементов системы объектов производства, т.к. детальное описание технологических сред невозможно. В условной классификации выделяют детерминированные (феноменологические), стохастические (вероятностные) и сложные системы (синергетические).

Эта систематизация условная и требует определенного уровня рассмотрения, как стационарных структур, так и уровня организации процесса. При этом под системой можно понимать как объект производства, так и технологическую среду.

Наследование свойств изделия в ходе изготовления характерно как для детерминированных, так и для стохастических систем. В первом случае не возникает никакой неопределенности в передаче свойств. Если известны предыдущие состояния системы и способ передачи информации, то можно прогнозировать её последующее состояние, так, например, для случая наследования геометрических параметров. Для стохастической системы нельзя сделать точного предсказания. Можно лишь с большей или меньшей вероятностью определить, каковы будут наследственные свойства изделия. Однако признание того, что данная система является детерминированной или стохастической, не может оказать решающего влияния на понимание сущности технологической наследственности. Рассматриваемое явление непременно связано с состоянием системы и ее изменениями во времени. Любой

объект производства находится в многообразных связях и взаимодействиях с окружающими его объектами и участвует одновременно в нескольких формах движения. Поэтому всякое состояние объекта представляет комплекс условий, в которых это состояние формировалось.

Процесс формирования свойств, выполняемый по воле изготовителя предполагает жесткое регламентирование условия проведения технологических операций по отношению к объекту производства. Однако обычное рассмотрение регламентов очень опасно, так как может привести к погрешностям в ходе процесса и нарушению наследственных связей.

Достаточно полно отражают методологию системного подхода, принципы физичности и моделируемости структуры. Однако сложные системы, например, такими являются системы зерен, молекул и атомов, обладают особыми свойствами. Прежде всего это уникальность. Каждая система этого класса не имеет полных аналогов поведения, во всяком случае, аналоги настолько редки, что их наличие можно не учитывать.

Сложные системы отличаются слабой предсказуемостью. Поэтому никакое подробное знание морфологии и функций элементов не позволяют однозначно определить функции объекта производства. Однако сложные системы обладают способностью к выбору поведения. Они обладают системным свойством, которого нет у ее элементов при любом способе декомпозиции. Системные свойства формируются путем накопления, усиления или проявления одних свойств элементов одновременно с нивелированием, ослаблением и скрытием других при их взаимодействии. Такой взгляд при изучении сложных систем основан на синергетическом подходе. Синергетика, будучи наукой о процессах развития и самореализации сложных систем произвольной природы, изучает дополнительные эффекты [2,3].

Сложные системы, находясь в различных ситуациях, могут проявлять различные свойства, в том числе и альтернативные. Для изменения поведения системы требуется прирост воздействия, превосходящего некоторое пороговое значение. В результате система начинает обладать свойствами, отличными от ее свойств в прошлом.

Такое поведение системы схоже с фазовыми переходами первого и второго рода. В соответствии с синергетическим подходом фазовые переходы происходят в результате самоорганизации, процесс которой описывается тремя степенями свободы, отвечающими параметру порядка, сопряженному ему полю и управляющему параметру.

Использовать единственную степень свободы - параметр порядка, возможно для описания только квазистатического фазного перехода. В системах, значительно удаленных от состояния термодинамического равновесия, каждая из указанных степеней свободы приобретает самостоятельное значение. В них процесс самоорганизации складывается в результате конкуренции положительной обратной связи параметра порядка с управляющим параметром и отрицательной обратной связи с сопряженным полем. Поэтому кроме процесса релаксации к равновесному состоянию в течение времени при участии 2-х степеней свободы может реализоваться автоколебательный режим, а при участии 3-х возможен переход в неустойчивое состояние. Применительно к сложным системам, следует понимать под основным процессом - целенаправленное поведение и развитие, а под мелкомасштабными флуктуациями - случайные отклонения, вызванные, в частности, взаимодействием с технологической средой. Листовая заготовка представляет собой сбалансированную систему, вследствие чего ее свойства находятся во взаимосвязи. Некоторые из взаимосвязей свойств очевидны и достаточно исследованы, другие не столь очевидны и требуют дополнительных исследований.

Общеизвестно, что листовая материал обладает значительной анизотропией свойств, являющихся следствием кристаллического строения материала и последующего его текстурирования при прокатке [4]. Такую характеристику листового материала необходимо учитывать. В свою очередь, многочисленные данные по деформированию анизотропных материалов показывают, что в отличие от однозначного поведения изотропной среды, при штамповке анизотропных заготовок существенно повышаются деформационные возможности материала и конкретные характеристики изделий в определенных направлениях. Поэтому одним из перспективных путей улучшения качества изделий и повышения деформационных свойств полуфабрикатов для различных операций штамповки является формирование в листовом материале заранее заданной анизотропии свойств. Для реализации этого необходимо знать величину показателей анизотропии, методы описания текстурной морфологии. Кроме того должна быть сформирована оптимальная технологическая среда, которая в свою очередь будет формировать оптимальные свойства изделий.

В связи с этим эффективное использование природной анизотропии кристаллических материалов приводит к совершенствованию технологической среды. В результате могут образоваться дополнительные связи между элементами системы. Увеличение многосвязности, например, между зернами материала, приводит, в конечном счете, к довольно существенной их морфологической перестройке. Принципиальным отличием системы зерен от системы атомов в кристалле является самостоятельность информации и ее влияние на морфологию текстуры листового материала.

В результате система зерен материала закрепляет свою измененную морфологию. Исходный гомогенный, на уровне подсистем высшего уровня, элементный состав может стать гетерогенным, сохранив или не сохранив гомогенность на уровне подсистем более низкого уровня. Это является следствием функциональной деятельности, т.е. морфологическому преобразованию предшествует накопление циркулирующей информации, целенаправленное ее нарастание и, как следствие, направленное ориентирование свойств материала [5].

Однако схема таких технологических структур происходит при дискретных значениях управляющего параметра технологической среды, практически на границе потери устойчивости. В этом случае значение управляющего параметра является бифуркационным, а явление бифуркацией. Бифуркация может возникнуть как при наличии технологического воздействия, так и при прекращении его действия. Поэтому развитие системы во времени происходит в определенном аттракторе [6,7].

После возникновения бифуркации что-либо определенное о постбифуркационном периоде сказать трудно и такое состояние системы принципиально непредсказуемое, но можно говорить о тенденциях эволюции системы. Таким образом, имеется способ для возведения «барьеров» в ходе технологического наследования. Суть этого способа состоит в создании самоорганизационных систем [8].

Механизм передачи свойств изделий с одной технологической операции к другой еще не раскрыт в должной мере. Что касается качественной характеристики фазового пространства, т.е. его топологической структуры, то она претерпевает резкие изменения при дискретных значениях параметра. В этом проявляется уникальность поведения сложных систем, которую можно представить, говоря современным языком, креативной триадой. В синергетике креативная триада представлена как процесс самоорганизации, рождения параметров порядка и упорядоченных структур мезоуровня из хаоса микроуровня. В точке бифуркации мезоуровень исчезает и возникает прямой контакт, рождающий мезоуровень с иными качествами. Наконец еще одним фактором преобразования морфологии на мезоуровне являются функционально

генерируемые поля технологических сред. Взаимодействия вещества с физическими полями еще слабо изучено, а методы описания полей, позволяющие получить численные результаты, далеко неадекватны. Предсказать результаты технологического воздействия на морфологию удастся для ограниченного класса задач.

В связи с вышесказанным выбор концепции направленного формирования свойств, штампованных деталей из листового материала должен объединить феноменологический, синергетический и кристаллографический подходы, а также рассматривать следующую креативную триаду системы; микроуровень (кристаллическая структура), мезоуровень (зеренная структура) и макроуровень (свойства материала и сред). Это означает перекрытие разных иерархических уровней на одном масштабе исследования и применение детерминированного и стохастического подходов при системном анализе направленного формирования свойств изделий. Для обоснования подхода направленного формирования свойств листовых заготовок в процессе прокатки, прежде всего надо выяснить - какие сочетания показателей анизотропии отвечают требованиям к совершенствованию конкретных листоштамповочных операций.

В связи с вышесказанным в процессе эволюции деформируемого материала возникает ряд неустойчивых структур, что позволяет управлять текстурной морфологией. Управляющими параметрами в этом процессе являются давление валков и температура нагрева. Для этого необходимо получить модели взаимосвязи показателей анизотропии листового материала с характеристиками текстуры и константами кристаллической решетки. Это позволит, с одной стороны, установить для конкретных условий деформирования рациональные значения показателей анизотропии, а с другой стороны, имея их функциональные связи с характеристиками текстуры, обеспечить получение в материале требуемой направленности свойств.

Как уже отмечалось, физической основой анизотропии свойств металлов является текстура, формирование параметров которой определяется множеством фактором, основными из которых являются тип кристаллической решетки, условия и схемы деформации, режимы термической обработки.

Однако целенаправленно воспользоваться указанными выше данными о текстуре металлов крайне затруднительно. Это обусловлено, прежде всего, тем, что параметры текстуры не связаны количественными соотношениями с показателями анизотропии. Естественным выходом из этой ситуации является использование феноменологического подхода. При таком подходе поликристаллические тела рассматриваются как однородные материалы, показатели анизотропии которых описываются тензорными величинами, а ориентационные факторы текстуры - через направляющие косинусы преимущественных кристаллографических направлений.

Другими словами, можно совместить макроскопический подход к процессам деформации и макроскопический подход к процессам текстурообразования за счет преимущественной ориентации кристаллографических направлений в поликристаллическом теле с учетом локализации пластической деформации.

Анализ преимущественных кристаллографических направлений осуществляется, как правило, путем построения прямых и обратных полюсных фигур после различных режимов обработки.

Помимо этого, в последнее время все более широкое распространение получило количественное описание текстур с помощью вероятностных функций распределения зерен по ориентациям. В основе построения этих функций лежит аналитическое представление ориентации кристаллографических осей кристаллов по отношению к осям текстурированного листового материала с помощью углов Эйлера. Упорядочение текстурной морфологии приводит к увеличению или уменьшению плотности углов

Эйлера для определенных ориентаций. Это изменение учитывается с помощью специальной текстурной функции, названной выше как вероятностная функция распределения зерен по ориентациям.

Функция показывает, во сколько раз изменяется удельный объем материала, занятый данной ориентировкой по сравнению с удельным объемом этой же ориентировки в изотропном материале. При описании преимущественных ориентировок с учетом симметрии кристаллов, используется разложение функций по симметричным обобщенным сферическим составляющим.

Текстурные функции дают полную информацию о распределении преимущественных кристаллографических направлений в листовом материале. Они хорошо зарекомендовали себя, например, при расчете анизотропии упругих свойств поликристаллов. При этом функция позволяет определить значение конкретного свойства в любом направлении текстурованного листового материала, если известна анизотропия этого свойства в монокристалле.

В целом предположения о технологическом наследовании свойств, основаны на анализе функции распределения зерен по ориентациям и на результатах получения требуемых текстур конкретных листовых материалов на отдельных этапах их обработки. Примером этому может служить стабильные и нестабильные ориентировки при прокатке баночной ленты. Это потребовало специальных исследований режимов нагрева слитков перед горячей прокаткой, её температурно-скоростных параметров и создание принципиально новых процессов высокоскоростной холодной прокатки. Прокатка с большими обжатиями и скоростями деформации обеспечивает не только получение гомогенного состояния материала, но и мелкозернистой рекристаллизованной структуры с направленными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. Мк.: Наука и техника, 1977. 256 с.
2. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 400 с.
3. Баланкин А.С. Синергетика деформируемого тела. М.: МО СССР, 1991. 404 с.
4. Гречников Ф.В. Деформирование анизотропных материалов. – М.: Машиностроение, 1998. 448с.: ил.
5. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогаев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.: ил.
6. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.М., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения. – под ред. доктора тех. наук А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2003г. 352 с.
7. Никифоров А.Д., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Процессы управления объектами машиностроения. – М.: Высшая школа, 2001г. 445 с.