

УДК 621.701.579

СИСТЕМА МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Д. В. Мосьпан

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: denis.mospan@gmail.com

Рассмотрена классификация эффектов и интенсифицирующих факторов, управляющих пластическим движением материала заготовки. Описано функциональное назначение рассматриваемых эффектов пластической деформации. Рассматривается разработка системы классификации управляемых эффектов пластического течения для решения комплекса технико-экономических проблем. Интеллектуальные устройства функционально необходимы для реагирования на изменение условий эксплуатации оборудования, технологического оснащения, физико-механических характеристик и геометрии заготовки. Реакция на это реагирование является изменением функциональных характеристик оборудования и технологического оснащения. Методы интенсификации процессов обработки давлением классифицированы в соответствии периодической системой элементов. Выявлены группы аналогов по достигаемым результатам. Главными технологическими свойствами являются повышение пластичности и устойчивости.

Ключевые слова: пластическая деформация, методы интенсификации, классификация, дополнительное нагружение.

СИСТЕМА МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ В ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Д. В. Мосьпан

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: denis.mospan@gmail.com

Розглянуто класифікацію ефектів й інтенсифікуючих чинників, що керують пластичною течією матеріалу заготовки. Описано функціональне призначення розглянутих ефектів пластичної деформації. Розглядається розробка системи класифікації керованих ефектів пластичної течії для вирішення комплексу техніко-економічних проблем. Інтелектуальні пристрої є функціонально необхідними для реагування на зміну умов експлуатації обладнання, технологічного оснащення, фізико-механічних характеристик і геометрії заготовки. Реакція на це реагування є зміною функціональних характеристик обладнання та технологічного оснащення. Методи інтенсифікації процесів обробки тиском класифіковані відповідно до періодичної системи елементів. Виявлено групи аналогів за отриманими результатами. Головними технологічними властивостями є підвищення пластичності й стійкості.

Ключові слова: пластична деформація, методи інтенсифікації, класифікація, додаткове навантаження.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Для решения комплекса задач изготовления деталей методами пластического деформирования широко используются методы интенсификации и оптимального управления процессами формоизменения. Это связано с расширением технологических возможностей процессов формообразования, повышением качества и эксплуатационных свойств получаемых деталей, увеличением степени деформации и деформируемости материала заготовки.

Высокие эксплуатационные свойства деталей, формирующиеся в производственно-технологических циклах формоизменения и термообработки, достигаются путем интенсификации процессов пластического деформирования, совмещения операций, использования особенностей пластического течения в условиях неравномерного деформирования. Последние включают эффекты пластической деформации, а именно, эффекты дополнительного силового и кинематического воздействия на очаг деформации и сдвиговые эффекты пластического течения. Эти направления значительно эффективнее методов расширения технологических возможностей обработки металлов давлением, связанных с оптимизацией свойств смазочных материалов, формы заготовки и инструмента; использованием ультразвуковых колебаний и высокоскоростного нагружения и др. Дополни-

тельное воздействие на деформируемый металл в очаге деформации позволяет реализовать совмещение технологических операций пластического формоизменения при наложении дополнительных усилий и моментов. Дополнительное силовое и термическое воздействие на промежуточных операциях термопластической обработки при определенных сочетаниях режимов и последовательности этих воздействий обеспечивают получение необходимых механических, технологических и эксплуатационных свойств заготовок и деталей. Основные принципы совмещения формоизменяющих операций в одном штамповом переходе были разработаны Е.А. Поповым [1]. Значительный вклад в развитие и разработку совмещенных операций внесли труды Ю.А. Аверкиева, А.Ф. Ахметова, М.Н. Горбунова, В.И. Ершова, Е.И. Исаченкова, В.Л. Калюжного, М.И. Лысова, В.А. Огородникова, В.И. Стеблюка, Р.В. Пихтовникова, В.В. Драгобецкого и др. [2–4].

Кроме того, необходимо учитывать, что современные материалы деформируются в условиях дополнительного критического силового и термического воздействия, что не укладываются в классическое описание их поведения при нагрузках. Поэтому для более адекватного описания процессов деформирования в условиях дополнительного нагружения необходимо использовать калибровочную теорию

[5], которая предполагает процедуру введения в лангранжеан, описывающий деформируемый материал заготовки, дополнительных калибровочных полей, т.е. физическим носителем такого управляющего интенсификационного воздействия служит калибровочное поле.

Цель работы – создание предпосылок для использования интеллектуальных устройств в конструкторско-технологическом оснащении процессов обработки давлением и разработке системы классификации управляемых эффектов и интенсифицирующих фактов пластического течения для решения комплекса технико-экономических проблем.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Интеллектуальные устройства функционально необходимы для реагирования на изменение условий эксплуатации оборудования, технологического оснащения, физико-механических характеристик и геометрии заготовки. Реакция на это реагирование является изменением функциональных характеристик оборудования и технологического оснащения, поэтому с одной стороны необходимо располагать арсеналом средств реагирования на изменения условий эксплуатации, а с другой – разрабатывать технические средства обработки с максимальным использованием эффектов самоорганизации и структурной приспособляемости. Поиск эффективных методов управления процессами пластического деформирования при изменении функциональных характеристик и создание технологических множеств силового и кинематического воздействия на заготовку с учетом сдвиговых эффектов пластического течения, значительно облегчаются разработкой системы классификации этих эффектов. Кроме того, классификация способствует выявлению новых приемов управления и уточнению технологических возможностей используемых методов обработки. Под классификацией в теории образов понимают разбиение некоторой совокупности объектов на группы объектов близких в каком-то смысле. Разработка классификатора позволяет систематизировать данные для создания математической модели процессов формоизменения в условиях дополнительного силового и кинематического воздействия, изыскать новые, наиболее эффективные и совершенные способы и приемы повышения пластичности и адаптации к изменению условий эксплуатации.

Это является принципиально возможным, если опираться на положения общей теории иерархических систем при знании закона и состояния управляющей системы верхнего уровня [5]. При этом знание закона с точки зрения адаптированной системы невозможно, поскольку из-за наличия иерархического тумана структурные уровни процесса обработки поддаются детерминированному анализу и возникновению неопределенности, связанной со стохастизацией и появлением детерминированного хаоса.

В настоящее время в технике формоизменения материалов разработан комплекс эффективных методов и способов повышения пластичности и расширения технологических возможностей процесса. Тем не менее, этих методов не достаточно, а теория пластичности, по крайней мере, в нашей стране и ближнем зарубежье, не соответствуют современным

интеллектуальным технологиям. Классификатор способов повышения эффективности процессов пластического формоизменения и интенсификации необходимо разрабатывать, отталкиваясь от соответствующей теории пластичности. Последняя должна обеспечивать теоретический анализ этих методов и приемов с целью эффективного управления процессами формоизменения. Необходимость разработки теории и классификатора отражена в работах классиков обработки материалов давлением С.И. Губкина и Е.А. Попова [1]. Следует предположить, что для описания интеллектуальных технологий пластического деформирования в большей степени подходит теория пластичности, основу которой составляет теория систем. Такой подход составляет альтернативу статистическому и не требует использования статистических данных для описания многовариантного поведения деформируемого объекта как целостной системы. Последняя включает в себя совокупность взаимодействующих объектов, каждый из которых сам является системой. Для интеллектуальных технологий необходимо наличие системы принятия решений, в которой реализованы как минимум три уровня (слоя): самоорганизации, обучения и выбора. Для создания слоя обучения и накопления информации в системе необходим классификатор и координатор, управляющий взаимодействием уровней в соответствии с выбранной стратегией координации и адаптации.

В основу современных алгоритмов и методов классификации положено понятие образа или класса. Последнее обобщает некоторое множество объектов (в данном случае приемов управления процессом пластического деформирования). При этом каждый объект из пространства векторов y^j характеризуется набором s признаков ($y^1, y^2 \dots y^s$). При анализе признаков перед управляемым объектом ставится глобальная цель в виде ограничений на допустимые состояния, т.е. выход E . Ограничения задаются решениями y^s из некоторого множества решений y^j . Если на процесс формоизменения заготовки оказывают влияние неконтролируемые факторы, которые характеризуются некоторым множеством N , целевая функция становится неопределенной. Сужение множества неопределенностей N достигается путем использования всей информации имеющейся в системе, обеспечивающей процесс формоизменения. Описанная задача решается в слое (уровне) обучения. Итоговой задачей слоя обучения является построение максимальной информации, достаточной для принятия решения на слое выбора. Качество классификации в современной теории образов оценивается мерой близости между классами. Конечной целью классификации является разбиение приемов, способов, управляемых эффектов и др. рассматриваемого типа, предопределяющего направление решения технической задачи.

Анализ существующих систем классификации в различных областях знаний приводит к выводу о необходимости опираться на наиболее значимые для науки и техники. Поэтому, применяемые способы, интенсифицирующие процессы пластического формоизменения, известные и вновь выявленные, сле-

дует классифицировать, в какой-то степени основываясь на периодической системе элементов. Объективными критериями количественной оценки способов могут быть:

- работа пластической деформации;
- показатель напряженности состояния;
- работа пластической деформации при образовании единицы поверхности;
- коэффициент чувствительности пластичности к изменению схемы напряженного состояния;
- критерий предельного упрочнения и образования упорядоченной структуры.

Из этих критериев целесообразно использовать инвариантные характеристики [4]. Из всех существующих показателей напряженного состояния предпочтительно учитывать показатель (критерий) В.А. Огородникова, учитывающий третий инвариант напряжений. Упорядоченность структуры определяется либо из соотношения Гилмана–Джонстона [6, 7], либо из равенства нулю второй производной реальной кривой течения. Учитывая то, что практически все критерии могут быть выражены через показатель схемы напряженного состояния, его можно выбрать в качестве количественной характеристики способов интенсификации процессов необратимого формоизменения.

В основу классификации положена длиннопериодическая форма таблицы Менделеева Д.И. В этой таблице по горизонтали расположены периоды, а по вертикали – группы аналогов. В данном исследова-

нии ограничимся формированием группы аналогов. В текущем варианте эти аналоги являются технологическими аналогами, технологическое назначение которых: повышение пластичности, устойчивости процесса формоизменения, снижение деформирующих усилий, расширение технологических возможностей процесса, получение необходимой структуры материала детали.

Группа методов, применение которых позволяет расширить технологические возможности путем использования традиционных и нетрадиционных методов воздействия, физических и химических эффектов. Эти методы существенно увеличивают предельную пластичность, предельную деформацию или габариты обрабатываемых деталей, или же позволяют предельно уменьшить габариты деталей и создать условия для аномально низкого трения.

В этом случае силовые факторы – это вибронагружение, пульсирующие нагрузки, резонансные явления, эффекты кумуляции.

Кинематические – течение металла в условиях переориентации вектора нагрузки.

Металлургические – эффекты электропластичности, вибропластичности, сверхпластичности, оптимизация температурно-скоростных условий нагружения.

Геометрические – придание заготовке нетрадиционной формы с элементами жесткости.

Фрагмент классификации представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Система-классификатор методов интенсификации процессов пластической деформации

Периоды	Ряды	Группы методов		
		Расширение технологических возможностей	Повышение пластичности	Повышение устойчивости
Геометрические		Профилированная, разнотолщинная, волнистая, с элементами жесткости	Исключение объемов затрудненной деформации	Увеличение толщины (диаметра) заготовки
Кинематические	управляемые	Эффект Баушингера	Однородное деформированное состояние	Применение обкладок, пороги, ребра, прижим
	неуправляемые	Локализация пластической деформации	Закон наименьшего сопротивления	
Металлургические		Сверхпластичность, электропластичность	Структура материала заготовки, фазовый состав, химический состав, термообработка	Дрессировка, нагартовка, охлаждение
Силовые		Вибропластичность, интенсивная пластическая деформация, сдвиговые эффекты	Благоприятная деформационно-силовая схема	Прижим, импульсное нагружение

При формировании таблицы учтено влияние способов интенсификации на повышение пластичности и устойчивости при формоизменении материала заготовки. Как правило, при повышении пластичности снижается устойчивость процесса деформирования и наоборот. В периодической системе элементов аналогом этому является восстановительная (пластичность) и окислительная (устойчивость) активность химических элементов.

Дальнейшим развитием предложенной таблицы

классификации является кодирование элементов таблицы и приобщение к коду количественной характеристики. Накопление информации об управлении процессами необратимого формоизменения и разгрузки – первый шаг к созданию интеллектуальных технологий в процессах обработки металлов давлением.

Технологические эффекты достигаются путем силового, кинематического, металлургического и геометрического воздействия.

Методы воздействия следующие:

силовые связаны с применением наиболее благоприятных деформационно-силовых схем (показатель схемы напряженного состояния), длительности и периодичности силового воздействия;

кинематические реализуются при создании однородного деформированного состояния, использования эффекта Баушингера и законов дополнительных притяжений и наименьшего сопротивления. Самопроизвольное формоизменение предварительных отформованных, профилированных или деформированных заготовок, применение технологических обкладок;

металлургические достигаются при регулировании химического состава, фазового состояния и структуры материала заготовки;

геометрические связаны с изменением геометрии заготовки путем исключения объемов затрудненной деформации.

Также существует группа способов, препятствующих нарушению нормального течения формообразования и разрыву металла. Это часто происходит вследствие потери устойчивости пластической деформации с образованием сосредоточенного утонения, полос скольжения (первичные и вторичные) и волнистости. Возникновение потери устойчивости связано с характером напряженного состояния, анизотропии, скорости деформации, неоднородностей структурного и геометрического характера и др. В соответствии с этим используются и способы интенсификации:

силовые связаны с увеличением доли растягивающих или сжимающих напряжений, управление напряжениями контактного трения;

кинематические реализуются торможением материала заготовки перетяжными ребрами и порогами, уменьшением свободных участков заготовки (заготовки со срезанными углами, изменение контура заготовки), применение технологических накладок (принципы слоистости);

металлургические достигаются повышением способности материала к упрочнению, путем устранения или уменьшения площадки текучести. Это выполняется путем упрочнения металла дрессировкой или растяжением;

геометрические изменением размера заготовки (толщины, периметра, площади).

В целом общей методологией классификации и поиска методов и эффектов интенсифицирующих процессов получения деталей пластическим деформированием является системный подход. Наиболее простой формой которого является индуктивный метод «от частного – к общему». На базе последнего осуществляется переход от элементарного процесса обработки металлов давлением к выходным параметрам необратимого формообразования с приданием необходимых физико-механических свойств. Заданное формоизменение может быть достигнуто при различных схемах воздействия внешних сил и интенсифицирующих факторов на заготовку. Внешние силы или интенсифицирующие воздействия (факторы) обеспечивают процесс формоизменения через систему управления исполнительными элементами технологического оснащения. Это осу-

ществляется путем обработки информации систем контроля, задания закона нагружения, перемещения деформирующего инструмента и обеспечения необходимых параметров процесса. Стратегия исследований при такой постановке заключается в оценке влияния параметров деформирующей системы и выработке методов их варьирования, обеспечивающих максимальный эффект при необратимом формообразовании. Для реализации указанной стратегии достаточно использовать оптимизационные модели деформирования [2, 3, 6–10]. Реализацию стратегии интеллектуального управления в рамках системного подхода осуществляют путем передачи управляющего воздействия между уровнями системы. В этом случае на каждом уровне возможно действие своих механизмов деформирования. Взаимодействие последних создает общую картину формоизменения материала заготовки.

ВЫВОДЫ. Комплекс теоретических и технологических задач, которые определяют технологические возможности процессов обработки материалов пластическим деформированием, наиболее полно раскрывается на основе классификации методов интенсификации пластической деформации. Новые возможности для решения этих задач связаны с использованием дополнительных воздействий (силовых и кинематических) и реализации сдвиговых эффектов.

Результатом реализации этих методов является решение комплекса технико-экономических проблем и создание новых принципов совмещения операций в одном переходе комбинированных и интеллектуальных технологий необратимого формоизменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением / В.А. Голенко, А.М. Дмитриев, В.Д. Кухарь и др. – М.: Машиностроение, 2004. – 464 с.
2. Оптимизация геометрических и технологических параметров процесса формоизменения листовых деталей с рациональным выбором интенсифицирующих факторов / В.В. Драгобецкий, Н.Н. Мороз, О.В. Троцко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збір. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 32. – С. 38–43.
3. Загальні підходи оптимізації технології виробництва листових заготовок / М.М. Мороз, В.В. Драгобецкий, А.Г. Маркевич // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2009. – Вип. 28. – С. 186–188.
4. Огородников В.А., Киселев В.Б., Сивак И.О. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы): монография. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
5. Миклашевич И.А. Микромеханика разрушения в обобщенных пространствах. – Минск: Логвинов, 2003. – 208 с.
6. Корректировка режимов упрочнения пластическим деформированием / Е.А. Наумова, Д.В. Мосьпан, В.В. Драгобецкий // Вестник НТУ «ХПІ»:

сбор. науч. трудов. Тематический выпуск: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – № 43 (1086). – С. 117–122.

7. Dragobetskii V.V., Shapoval A.A., Zagoryanskii V.G. Development of Elements of Personal Protective Equipment of New Generation on the Basis of Layered Metal Compositions // *Steel in Translation*. – 2015. – Vol. 45, iss. 1, pp. 33–37.

8. Dragobetskii V.V., Shapoval A.A., Mospan D.V., Trotsko O.V., Lotous V.V. Excavator Bucket Teeth

Strengthening Using a Plastic Explosive Deformation // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – No. 4. – PP. 363–368.

9. Shapoval A.A., Mospan D.V., Dragobetskii V.V. Ensuring High Performance Characteristics For Explosion-Welded Bimetals // *Metallurgist*. – July 2016. – Vol. 60, iss. 3. – PP. 313–317.

10. Gorbatyuk S.M., Shapoval A.A., Mospan D.V., Dragobetskii V.V. Production of Periodic Bars by Vibrational Drawing // *Steel in Translation*. – 2016. – Vol. 46, no. 7. – PP. 474–478.

SYSTEM OF METHODS OF INTENSIFICATION IN INTELLIGENT TECHNOLOGIES OF PLASTIC DEFORMATION

D. Mospan

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: denis.mospan@gmail.com

Purpose. The analysis of methods for intensifying the processes of pressure treatment is given. The most effective methods including the effects of an additional force are identified. The necessity of applying the gauge theory for describing the formation processes under an additional loading is substantiated. **Methodology.** The aim of the research is to develop a system for classifying controllable methods for intensifying the deformation processes for the use in the intellectual technologies. Plasticity is an analog of the reducing properties of elements while stability is an analog of the oxidizing properties of elements. **Results.** A classification of the effects controlling plastic flow of the workpiece material is considered. The functionality of the effects of plastic deformation is described. **Originality.** The development of a system for the classification of controlled effects of plastic flow for solving a complex of technical and economic problems is considered. Intelligent devices are functionally necessary to respond to changes in operating conditions of equipment, technological equipment, physical and mechanical characteristics and geometry of the workpiece. The reaction to this reaction is a change in the functional characteristics of equipment and technological equipment. The methods of intensification of the working processes by pressure are classified in accordance with the periodic system of elements. Groups of analogs by the achievable results are determined. The main technological properties are the increase of plasticity and stability. **Practical value.** Possible criteria for quantitative evaluation of the methods of intensification of deformation processes are given. Groups of technological analogs and groups of methods that expand the technological capabilities of the processes are determined. References 10, table 1.

Key words: effects, forming, classification, shear, plastic deformation, additional loading.

REFERENCES

1. Golenko, V.A., Dmitriev, A.M., Кухарь, V.D. et al. (2004), *Specialnye tekhnologicheskie process i oborudovanie obrabotki davleniem* [Special technological processes and equipment of treatment pressure], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

2. Dragobetskii, V.V., Moroz, N.N., Trocko, O.V. (2009), “Optimization of geometrical and technological parameters of process of формoизменения of sheet details with the rational choice of intensifying factors”, *Transactions of the National technical university of “KhPI”: collection of scientific works. Thematic producing: the New decisions in modern technologies*, no. 32, pp. 38–43.

3. Moroz, M.M., Dragobetskii, V.V., Markevich, A.G. (2009), “General approaches of optimization of technology of production of sheet purveyances”, *Transactions of Dnepropetrovsk an academician V. Lazaryan of Railway Transport National University*, iss. 28, pp. 186–188.

4. Ogorodnikov, V.A., Kiselev, V.B., Sivak, I.O. (2005), *Energija. Deformacii. Razrushenie. (zadachi avtomehaničeskoj jekspertizy): monografija* [Energy. Deformations. Destruction (tasks of avtomehaničeskoj examination): monograph], UNIVERSUM-Vinnicia, Vinnica, Ukraine.

5. Miklashevich, I.A. (2003), *Mikromehanika razrushenija v obobwennyh prostranstvah* [Micromechanics of destruction is in the generalized spaces],

Logvinov, Minsk, Belorussiya.

6. Naumova, E.A., Mospan, D.V., Dragobetskii, V.V. (2014), *Adjustment of the modes of work-hardening by a flowage Announcer National technical univercieta “KhPI”: collection. science labours. Thematic producing: Innovative technologies and equipment of treatment of materials in an engineer and metallurgy*, no. 43 (1086), pp. 117–122.

7. Dragobetskii V.V., Shapoval, A.A., Zagoryanskii, V.G. (2015), “Development of Elements of Personal Protective Equipment of New Generation on the Basis of Layered Metal Compositions”, *Steel in Translation*, vol. 45, iss. 1, pp. 33–37.

8. Dragobetskii, V.V., Shapoval, A.A., Mospan, D.V., Trotsko, O.V., Lotous, V.V. (2015), “Excavator Bucket Teeth Strengthening Using a Plastic Explosive Deformation”, *Metallurgical and Mining Industry*, no. 4, pp. 363–368.

9. Shapoval, A.A., Mospan, D.V., Dragobetskii, V.V. (2016), “Ensuring High Performance Characteristics For Explosion-Welded Bimetals”, *Metallurgist*, vol. 60, iss. 3, pp. 313–317.

10. Gorbatyuk, S.M., Shapoval, A.A., Mospan, D.V., Dragobetskii V.V. (2016), “Production of Periodic Bars by Vibrational Drawing”, *Steel in Translation*, vol. 46, no. 7, pp. 474–478.

Стаття надійшла 28.02.2017.