

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.7:621.8:621.9:536.75

Академик П. И. ЯЩЕРИЦЫН, Л. М. КОЖУРО,
И. А. СЕНЧИЛО, М. Л. ХЕЙФЕЦ

О САМООРГАНИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКО-
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ
ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

В технологическо-эксплуатационных процессах (рис. 1) на таких технологических операциях, как разделение на заготовки (I'), нанесение покрытий (II'), термообработка (III'), обработка поверхностей резанием (IV') и деформированием (V'); на таких стадиях эксплуатации, как приработка (I''), установившийся износ (II'') и разрушение (III'') в результате комбинированных воздействий, происходят кооперативные явления и эффекты, которые чаще всего носят термомеханический, электромагнитный, физико-химический и другой характер [1]. Для обеспечения устойчивости характеристик технологической или эксплуатационной системы при комбинированных воздействиях необходимо, чтобы в результате самоорганизации процессов избыток различных потоков энергии рассеивался путем образования диссипативных структур в обрабатываемом материале или за счет дополнительных степеней свободы движений инструментов, а также других элементов и частиц при формировании [2] и эксплуатации [3] поверхности. Управление комбинированными воздействиями с целью обеспечения самоорганизации технологических и эксплуатационных процессов позволяет при минимальных энергетических затратах направить операции формирования и стадии эксплуатации поверхностей деталей на путь максимальной эффективности и качества обработки.

Для изучения управления комбинированными воздействиями рассматривалось распределение операций формирования [2] и стадий эксплуатации деталей [4] (рис. 1), представленных в виде начальных и граничных условий дифференциальных уравнений, описывающих технологические процессы по точности и качеству поверхностей в зависимости от уровня концентрации энергии различных типовых технологических источников (рис. 1, 1—12).

Анализ точности формирования поверхностей при увеличении мощности воздействия позволил выделить III основных этапа. На этапе I точность не возрастает в результате опережающего роста объемной зоны тепловыделения по сравнению с увеличением концентрации энергии. На этапе II точность минимальна вследствие формирования поверхности по разбросанным в большом объеме концентраторам напряжений, образованным множеством локализованных зон тепловыделения, на которые распалась объемная зона. На этапе III точность увеличивается в процессе фокусировки локальных зон тепловыделения в единое пятно с опережающим ростом напряжений [2]. На стадиях эксплуатации, наоборот, вслед за повышением (I'' — II'') следует снижение (II'' — III'') интенсивности износа поверхности [4] (рис. 1).

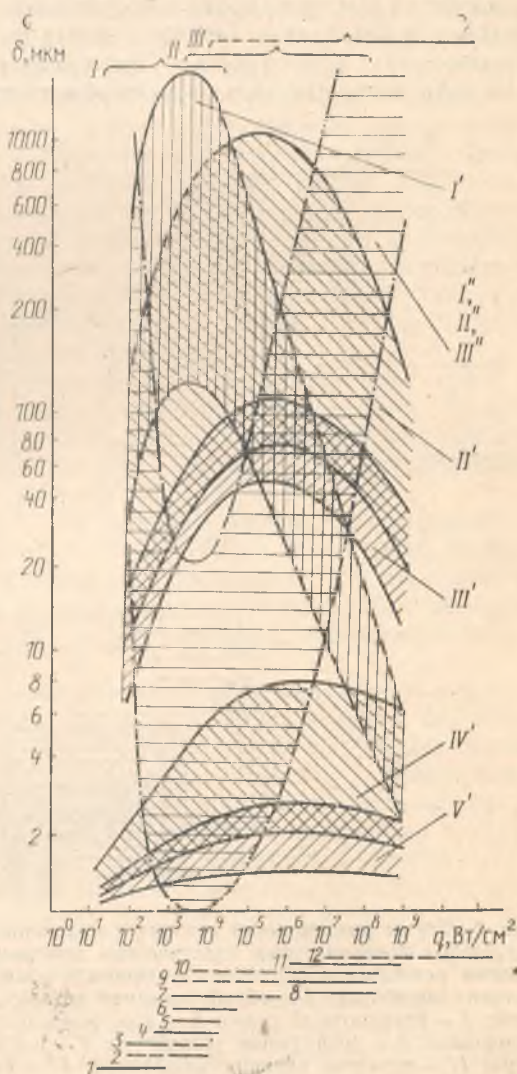
В соответствии с делением по концентрации энергии рассматривали

ряд высокоэффективных комбинированных методов, в каждом из которых использовалось по одному из типов источников и видов комбинированного воздействия. Так, объемный источник применяется для нанесения покрытия порошком или проволокой и предварительного нагрева плазменной дугой при резании и деформировании свободно вращающимся ротационным инструментом (рис. 2, а). Множество локализованных источников используется для электромагнитной наплавки порошка с последующими поверхностным пластическим деформированием и выглаживанием (рис. 2, б). Единый сфокусированный высокоэнергетичный источник применяется при модификации поверхности процессами ионной имплантации и ионного осаждения (рис. 2, в).

Ротационное резание с плазменным нагревом — технологический процесс, совмещающий операции нанесения и термообработки покрытий с удалением дефектного поверхностного слоя резанием и упрочняющим деформированием обрабатываемой поверхности (рис. 2, а). Метод используется при восстановлении и упрочнении деталей износостойкими высокопрочными покрытиями [5]. Для временного снижения прочности дефектного поверхностного слоя покрытий используются предварительный нагрев или технологическое тепло наплавки, изменяющие начальные условия процесса. Для удаления припуска применяется ротационный инструмент, меняющий граничные условия дополнительными перемещениями режущего лезвия.

Плазменный нагрев зоны резания при отсутствии возможности теплоотвода в узкой локализованной области наиболее интенсивных деформаций создает высокую температуру, в результате ее дальнейший рост приобретает взрывной характер и происходят разрушающие термопластические сдвиги [6]. Ротационный инструмент дает возможность управлять процессом стружкообразования путем дополнительного перемещения, не позволяющего заторможенным объемам материала закрепиться на лез-

Рис. 1. Распределение операций формирования деталей (I' , II' , III' , IV' , V') и стадий эксплуатации (I'' , II'' , III'') по точности и качеству поверхностей в зависимости от уровня концентрации энергии (I , II , III) для различных типовых технологических источников: 1 — тепловыделение при разрушении; 2 — индукционный нагрев; 3 — газовое пламя; 4 — плазменная дуга; 5 — тепловыделение при трении; 6 — электроконтактный подогрев; 7 — сварочная дуга; 8 — искровой разряд; 9 — тепловыделение в процессе приработки; 10 — электронный, ионный луч; 11 — непрерывный лазер; 12 — импульсно-периодический лазер (штриховыми линиями обозначены редко используемые в технологических процессах диапазоны мощности типовых источников)



вии, и обновления рабочего участка лезвия, предохраняющего от резкого возрастания температуры в локализованном объеме обрабатываемого материала [5]. Комбинированное термомеханическое воздействие позволяет снижать амплитуды колебаний тепловых и динамических нагрузок при обработке и этим стабилизировать качество формируемой поверхности.

Электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием — технологический процесс, сочетающий нанесение, термообработку и упрочняющее деформирование покрытия и сокращающий приработку поверхности за счет формирования рациональной геометрии и аморфно-кристаллического строения поверхностного слоя (рис. 2, б). Термомеханические процессы комбинированного метода определяются электромагнитными воздействиями. Используется метод при восстановлении и упрочнении деталей покрытиями из ферромагнитных порошков [7]. Частичную аморфизацию обеспечивает начальное условие — быстрое охлаждение тонкого расплавленного слоя наносимого покрытия. Для рациональной геометрии и упрочнения поверхности применяется деформирующий инструмент, изменяющий граничные условия дополнительными движениями качения и вращения шарика.

При нанесении покрытий электромагнитной наплавкой частицы ферропорошка выстраиваются в постоянном магнитном поле в электроды-цепочки, а в результате электродуговых разрядов наплавляются на обрабатываемую поверхность. Электромагнитная наплавка позволяет наносить покрытие только до определенной толщины, после чего форми-

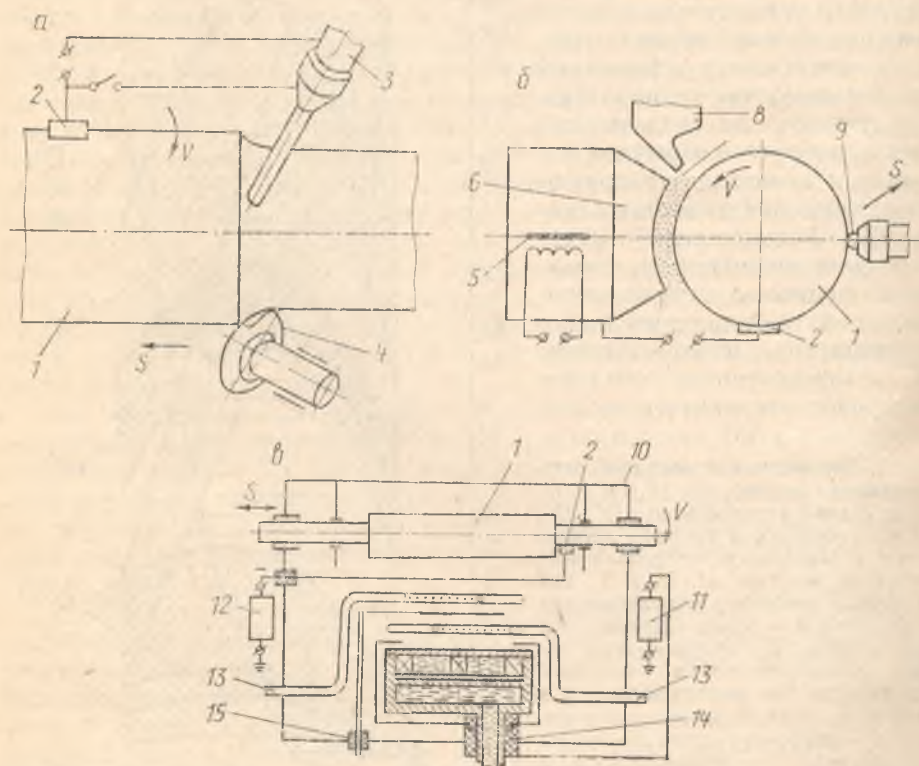


Рис. 2. Схемы ротационного резания с плазменным нагревом (а), электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием (б), ионной имплантации с ионным осаждением (в); V и S — скорости вращения и подачи при комбинированных методах обработки: 1 — обрабатываемая деталь; 2 — скользящий контакт; 3 — плазмотрон; 4 — ротационный резец; 5 — электромагнит; 6 — полюсный наконечник; 7 — ферропорошок; 8 — дозирующее устройство; 9 — шариковый обкатник; 10 — вакуумная камера; 11 — источник питания магнетрона; 12 — источник питания постоянного напряжения (0—20 кВ); 13 — подача газа, 14 — магнетрон; 15 — заслонка

руемый слой теряет устойчивость, а на поверхности образуются пики, которые при последующих разрядах превращаются в кратеры [8]. Управлять процессом наплавки позволяют электромагнитные потоки, которые помимо фиксации частиц ферропорошка обеспечивают интенсивное тепловыделение в местах их контакта с формируемой поверхностью и вне зависимости от расхода порошка изменяют электросопротивление наплавляемого слоя, регулируют его толщину [7].

При деформировании наплавленной поверхности дополнительные степени свободы движений позволяют выглаживающему шарiku в результате взаимодействия с выступами обрабатываемой поверхности помимо качения совершать вращение [9]. Без дополнительного нагрева степень деформации невелика, а траектория шарика имеет вид петли. Нагрев переводит обрабатываемый материал в пластичное состояние, в результате степень деформации и коэффициент трения скольжения увеличиваются. Это препятствует вращению, уменьшает длину траектории шарика и приводит к снижению интенсивности деформационных процессов. В результате этого управлять процессом деформирования позволяют предварительный нагрев и дополнительное вращение шарика.

Комбинированная ионно-вакуумная модификация или ионная имплантация с ионным осаждением покрытия — технология формирования параметров качества как в процессе ионной обработки, так и при последующей эксплуатации поверхности (рис. 2, в). В результате высокоэнергетичной обработки в модифицированном слое происходят структурные превращения, повышающие работоспособность деталей и инструментов. Комбинированный ионно-вакуумный метод формирования многослойного композиционного материала обеспечивает за счет структурных превращений такую эксплуатацию, при которой система трения самоорганизуется в направлении участка нормального износа низкой интенсивности [10]. Начальные условия формирования и реорганизации модифицированных слоев определяются энергиями ионов при имплантации, осаждении и взаимодействия поверхностей при трении. Граничные условия определяются конструкцией модифицированных слоев и относительными движениями поверхностей в процессе эксплуатации.

Модифицированные ионной имплантацией поверхностные слои, используя энергию процессов, происходящих при эксплуатации изделий, управляют формированием требуемого качества поверхности в процессе ее работы, способствуя сохранению или частичному восстановлению осажденных функциональных слоев покрытия.

Рассмотренные методы [5, 7, 10], использующие разнообразные источники энергии и совмещающие различные операции и стадии, позволили сформулировать следующие основные положения. Они дают возможность проектировать процессы формирования и эксплуатации поверхностей деталей с самоорганизацией и управлением комбинированными воздействиями [1—3, 6, 11—15].

Таким образом, увеличение мощности, концентрации энергии и числа дополнительных степеней свободы источников, инструментов, технологических сред и обрабатываемых материалов, а также процессов их взаимодействия происходит путем самоорганизации и носит эволюционный характер. Комбинированные процессы формирования и эксплуатации деталей определяются кооперативными нелинейными явлениями и эффектами при взаимодействии различных потоков вещества и энергии. Структуры получаемых деталей, такие, как фазы, слои, поверхности, являются диссипативными самоорганизующимися и наследуются в процессах формирования и эксплуатации.

Размещение структур описывается граничными условиями и определяется положением технологических и эксплуатационных барьеров, которое можно найти как вторую производную импульсного переноса вещества или энергии по времени или расстоянию. Состояние структур описывается начальными условиями и определяется величиной барьеров.

При этом переход из одного состояния в другое должен сопровождаться импульсным переносом вещества или энергии, реорганизующим барьеры. Открытой производственной системой в процессах формирования и эксплуатации деталей можно управлять, меняя взаимосвязанные граничные и начальные условия путем варьирования положения и величины технологических и эксплуатационных барьеров.

Диссипативные самоорганизующиеся структуры формируются, наследуются и реорганизуются в процессах обработки и эксплуатации деталей. Целесообразно, чтобы структуры наследовались или реорганизовывались в новое состояние последовательно от операции к операции при минимальных импульсах переноса вещества и энергии. При формировании поверхности детали последовательность технологических барьеров и операций обработки рационально расположить в порядке, обратном последовательности эксплуатационных барьеров и воздействий на стадиях эксплуатации.

Summary

On the basis of a synergistic approach to the analysis of a technological and operation heredity the main statements, which make it possible to control self-organization processes in the course of surface hardening and restoration and to design resources-keeping technologies, were formulated.

Литература

1. Когерентные кооперативные явления: Тр. Физического ин-та АН СССР. М., 1976. Т. 87.
2. Хейфец М. Л. // Вестник машиностроения. 1994. № 2. С. 22—25.
3. Алексеев Н. М., Кузьмин Н. Н., Транковская Г. Р., Шувалова Е. А. // Трение и износ. 1992. Т. 13, № 1. С. 161—171.
4. Костецкий Б. И., Носовский И. Г., Бершадский Л. И., Караулов А. К. Надежность и долговечность машин. Киев, 1975.
5. Ящерицын П. И., Борисенко А. В., Попок Н. Н., Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 5. С. 429—432.
6. Попок Н. Н., Хейфец М. Л. // Трение и износ. 1993. Т. 14, № 3. С. 552—562.
7. Ящерицын П. И., Деев Г. А., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 4. С. 114—117.
8. Ящерицын П. И., Забавский М. Т., Кожуро Л. М., Акулович Л. М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. Минск, 1988.
9. Джонсон К. Л. Механика контактного взаимодействия. М., 1988.
10. Сенчило И. А., Смирнов А. М., Власов В. Б., Барышников В. В. // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Л., 1990. С. 40—43.
11. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. Киев, 1971.
12. Ящерицын П. И., Рыжов Э. В., Аверченков В. И. Технологическая наследственность в машиностроении. Минск, 1977.
13. Сенчило И. А., Олейников И. И., Смирнов А. М., Барышников В. В. // Повышение качества изготовления изделий в машиностроении. Л., 1990. С. 9—14.
14. Ящерицын П. И., Борисенко А. В., Хейфец М. Л. // Весті АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1992. № 1. С. 48—53.
15. Грипачевский А. Н., Верещак А. В., Горский В. В. // Трение и износ. 1992. Т. 13, № 4. С. 647—653.

Физико-технический институт
АН Беларуси,
Белорусский аграрный технический
университет,
Санкт-Петербургский технический
университет,
Полоцкий государственный
университет

Поступило 19.08.93