

Ю.А. Харламов, д.т.н., проф.¹,
Л.Г. Полонский, д.т.н., проф.²,
*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля*¹,
*Государственный университет «Житомирская политехника»*²

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Контактное взаимодействие твердых тел при трении сопровождается сложным комплексом взаимосвязанных явлений и получает все более широкое практическое использование для выполнения разнообразных операций обработки в машиностроении.

Трение сопровождает и процессы обработки деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД). Поверхностный слой при обработке ППД формируется под воздействием многократно повторяющихся в очаге деформирования и прилегающих зонах упругих и пластических деформаций, трения, тепловых процессов и сопутствующими изменениями микро- и макроструктуры, микрогеометрии и пр. Однако к фрикционным методам обработки следует относить процессы обработки, в которых определяющую роль играют явления, протекающие в зоне фрикционного контакта инструмента с деталью или соединяемых деталей при сварке.

По функциональному назначению разработаны и получили применение разнообразные способы фрикционной обработки.

1. Обработка металлов давлением: 1.1. фрикционная экструзия расходуемых прутков; 1.2. фрикционная экструзия при плакировании прутков и проволоки; 1.3. фрикционная переработка сплавов из расходуемых прутков для улучшения микроструктуры и механических свойств, в том числе литых сплавов; 1.4. фрикционная формовка полых и сплошных заготовок без предварительного нагрева; 1.5. фрикционное микроформирование.

2. Порошковая металлургия: 2.1. фрикционная экструзия порошков; 2.1. фрикционное консолидирование и спекание порошковых материалов и отходов обработки.

3. Обработка резанием: 3.1. фрикционная резка вращающимся диском; 3.2. фрикционное фрезерование диском трения; 3.3. резка фрикционными ленточными пилами; 3.4. фрикционное (пластическое) сверление; лезвийная обработка с фрикционным подогревом зоны резания

4. Модифицирование поверхностных слоев деталей: 4.1. фрикционная обработка при нагреве высокоскоростным диском трения; 4.2. фрикционное высокоскоростное выглаживание; 4.3. фрикционное наноструктурное выглаживание; 4.4. модифицирование поверхностных слоев трением с перемешиванием; 4.5. получение дисперсно упрочненных композиционных слоев трением с перемешиванием.

5. Наплавка и нанесение покрытий: 5.1. фрикционное припекание порошковых покрытий; 5.2. наплавка расходуемым вращающимся прутком; 5.3. фрикционное латунирование (бронзирование, меднение); 5.4. фрикционное натирание пленок; 5.5. ротапринтное смазывание узлов трения; 5.6. фрикционное нанесение износостойких покрытий эластичным инструментом.

6. Сварка, разъемные соединения: 6.1. ротационная сварка трением; 6.2. инерционная сварка трением; 6.3. орбитальная сварка трением (для соединения некруглых деталей); 6.4. радиальная сварка трением (соединение труб); 6.5. линейная сварка трением с перемешиванием (СТП) (различные модификации вращающегося нерасходуемого инструмента); 6.6. фрикционная шовная сварка вращающимся расходуемым прутком; 6.7. фрикционная приварка шпилек и стержней; 6.8. сварка трением с погружением (для приварки стержней к относительно мягким материалам); 6.9. сварка трением с промежуточным телом (разновидность сварки трением с погружением); 6.10. прерывистая фрикционная коническая сварка (для заделки трещин, устранение дефектов в конце сварных швов при сварке трением с перемешиванием и сварке со сквозным проплавлением); 6.11. фрикционная шовная сварка вращающимся диском; 6.12. реверсивная линейная сварка трением (частота колебаний до 75 Гц с амплитудой до ± 3 мм); 6.13. ультразвуковая сварка; 6.14. ротационная пайка трением; 6.15. фрикционная обработка при сборке.

7. Комбинированные методы обработки с использованием явлений на фрикционном контакте.

Эти способы могут быть также классифицированы по ряду других признаков: характеру контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью; кинематике процесса обработки; использованию при обработке дополнительных источников энергии; применению смазочно-охлаждающих сред и способах их подачи; методам отвода или сохранения фрикционного тепла в зоне контакта; конструкции и материала обрабатывающего инструмента и др.

По физической природе воздействия на обрабатываемый материал следует различать три категории способов фрикционной обработки: 1. обработка с отводом фрикционного тепла из зоны контакта инструмента с деталью; 2. обработка с использованием фрикционного тепла в зоне контакта; 3. термомеханическая обработка. В первом случае решаются задачи изменения состояния поверхностного слоя деталей главным образом его пластической деформацией и сопутствующими явлениями. Обработка материала детали сопровождается механически активированными процессами. Для поддержания необходимого теплового режима должны быть обеспечены минимальная генерация и эвакуация избыточного тепла. Во втором случае обработка осуществляется преимущественно тепловым воздействием

фрикционного источника нагрева и сопровождается преимущественным влиянием термически активированных процессов в обрабатываемом материале. Здесь характерно обеспечение замедленного теплоотвода из зоны контакта. К термомеханическим следует отнести способы с использованием дополнительных механических источников энергии.

Разработка новых способов фрикционной обработки с отводом тепла из зоны контакта связана с необходимостью совершенствования физико-механического процесса наноструктурирующего выглаживания при высоких скоростях скольжения индентора. Отвод фрикционного тепла из контактной зоны инструмента необходим для поддержания оптимального температурно-скоростного режима пластической деформации. Ведущую роль при поверхностной упрочняющей обработке при таких способах обработки играет процесс интенсивной пластической деформации, вызываемой трением. Следует ожидать дальнейшего развития процессов наноструктурирующего выглаживания и других методов с теплоотводом, а также дальнейшего совершенствования их для более существенного повышения степени и скорости деформации, увеличения толщины слоя с нанокристаллической структурой и в обеспечении комплекса новых уникальных эксплуатационных свойств.

К второй категории можно отнести способы модифицирования поверхностных слоев деталей за исключением наноструктурирующего выглаживания.

Большинство применяемых способов фрикционной обработки относится к третьей категории с использованием фрикционного источника тепла для предварительного нагрева зоны контакта и последующего силового воздействия. Это прежде всего перечисленные выше способы обработки давлением, порошковой металлургии, обработки резанием, большинства фрикционных способов наплавки и нанесения покрытий и пленок, способы сварки, использующие фрикционный нагрев деталей с последующим их сдавливанием, и пр.

Ряд способов обработки ППД при соответствующем контроле явлений, протекающих в поверхностном слое детали, могут быть отнесены к поверхностной фрикционной обработке. Условием этого является определяющая роль процессов в фрикционном контакте на формирование поверхностного слоя детали. Силовое взаимодействие инструмента с деталью происходит на пятнах фактического контакта, малые размеры которых являются причиной высоких фактических давлений. В процессе обработки в зоне фрикционного контакта находится активный поверхностный слой толщиной от долей до десятков микрометров, а нижележащий подповерхностный слой достигает толщины до нескольких миллиметров. Активный поверхностный слой испытывает пластическую деформацию и участвует в физико-химических трибореакциях. Поведение активного поверхностного слоя в процессе трения может происходить в условиях и закономерностях, свойственных интенсивным пластическим деформациям.

Основные принципы проектирования технологии и оборудования фрикционных способов обработки включают: 1. рациональный выбор материала инструмента с учетом совместимости с материалом обрабатываемой детали и физико-механическими свойствами; 2. обеспечение допустимого температурно-скоростного режима обработки в соответствии с целями выполняемой операции, т.е. надлежащего контроля и регулирования теплового режима в зоне фрикционного контакта инструмента с деталью; 3. обеспечение правила положительного градиента механических свойств в зоне фрикционного контакта инструмента с деталью; 4. рациональный выбор вида контакта инструмента с деталью (точечного, линейного или контакта по площади); 5. рациональный выбор микрогеометрии рабочей поверхности инструмента и вида предварительной обработки поверхности детали; 6. выбор оптимального значения коэффициента взаимного перекрытия поверхностей трения инструмента и детали.

Под совместимостью материалов инструмента и обрабатываемой детали понимается возможность обеспечения оптимального состояния в принятых режимах работы по выбранным критериям. Это прежде всего поддержание высокого и стабильного коэффициента трения при незначительном износе. Особое значение имеет исключение износа за счет схватывания с сопутствующими вырывами и переносом материала с одной поверхности на другую.

При положительном градиенте механических свойств внешнее трение возможно только в определенном интервале значений нагрузки или критерия Крагельского h/R , где h – глубина внедрения неровностей инструмента, R – радиус микронеровностей.