А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук; А.М. Лось, ст. преп.;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ

Эксплуатационные свойства и долговечность деталей в процессе работы в значительной степени определяются состоянием их рабочих поверхностей, т.е. качеством поверхностного слоя, которое оценивается совокупностью всех служебных свойств поверхности и, в первую очередь, износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, и др.

Эти свойства определяются и оцениваются геометрическими характеристиками поверхностных слоев деталей – параметрами отклонения поверхности от идеальной заданной (макронеровности, волнистость, шероховатость) и физико-механическими (микроструктура, микротвердость, напряжения на поверхности детали). Обе эти характеристики качества поверхности в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства деталей.

В свою очередь условия эксплуатации ряда деталей машин и механизмов при сложном нагружении характеризуются значительным трением, сопровождаемым интенсивным износом их рабочих поверхностей, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона, что влияет на усталостную прочность, долговечность и надежность отдельных деталей и механизмов и машин в целом.

В связи с этим для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость использования различных способов поверхностного упрочнения. Основные способы повышения долговечности деталей машин можно условно подразделить на: конструкционные, технологические, материаловедческие и эксплуатационные.

Каждый способ предполагает свою технологию, которая предусматривает различные технологические параметры, необходимые для получения желаемого результата.

К конструкционным способам поверхностного упрочнения (повышения износостойкости и долговечности) можно отнести уменьше-

ние количества различных концентраторов напряжений, оптимизацию макрогеометрии поверхностей трения и параметров шероховатости поверхности.

Из практики эксплуатации различных механизмов известно, что первоначальная форма сопрягаемых поверхностей и ее изменения в процессе изнашивания влияют на работоспособность деталей. Поэтому оптимизация формы направлена на достижение более равномерного распределения напряжений в зоне контакта, снижение фрикционного нагрева. При наличии оптимальной формы сопрягаемых поверхностей темп износа поверхностей отдельных деталей после приобретения ими формы после естественного износа замедляется.

В связи с этим важное место при конструировании деталей занимает поиск оптимальной формы.

При выборе формы сопрягаемых поверхностей деталей на стадии проектирования изначально следует стремиться задавать такую форму, какую она имеет в период установившегося трения.

При изготовлении деталей следует учитывать, что режимы обработки влияют на отклонения формы от заданной. Экспериментальными исследованиями установлено, что отклонение от круглости поверхности уменьшается при снижении продольной подачи и увеличении частоты вращения заготовки или рабочего инструмента. При этом существует рациональная глубина внедрения инструмента, при которой обеспечивается наименьшее отклонение от круглости поверхности.

Из множества исследований и опыта эксплуатации деталей машин известно, что параметры шероховатости поверхности оказывают существенное влияние на работоспособность деталей и их соединений.

Начальный износ поверхностей в подвижных соединениях при неправильно выбранной шероховатости может достигать 65-75% высоты неровностей шероховатости. Точность таких соединений (посадок) и их стабильность так же зависит от шероховатости поверхностей, Дополнительный зазор за счет начального износа может сразу нарушить заданный характер соединения.

Прочность соединений при применении посадок с натягом снижается при увеличенной высоте неровностей шероховатости за счет смятия неровностей.

Усталостная прочность при повышенной шероховатости снижается.

Антикоррозионная стойкость повышается с понижением шероховатости.

В связи с этим для увеличения долговечности следует на стадии проектирования задавать обоснованные параметры шероховатости, при изготовлении и при последующем упрочнении обеспечить необходимые режимы обработки. Так, например, известно, что при продольном точении увеличение подачи приводит к росту высотных параметров шероховатости. На параметры шероховатости влияет изменение величины скорости резания.

Как показывает практика физические свойства поверхностного слоя в большей степени влияют на эксплуатационную характеристику данной поверхности.

При этом следует отметить, что в процессе изготовления (обработки) детали под влиянием механических и тепловых воздействий поверхностный слой материала детали приобретает свойства, существенно отличающиеся от физико-механических свойств основной части материала. В зависимости от условий, режимов обработки и степени воздействия тепла глубина деформированного поверхностного слоя различна и колеблется от нескольких микрон до нескольких сотен микрон. Физически нарушенный поверхностный слой материала при различных методах обработки составляет, примерно от 5 (чистовое шлифование) до 120 мкм (черновое точение). Характеристика поверхностного слоя получается разной при разных методах обработки и для разных по вязкости обрабатываемых материалов.

Одним из простых и наиболее экономичных способов упрочнения деталей машин является механическое упрочнение поверхностей (пластическая деформация). Помимо упрочнения поверхность детали выглаживается, снижается ее шероховатость. Все это повышает износостойкость и усталостную прочность детали, снижает срок приработки.

Наряду с другими методами широкое применение получили химико-термические (цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, борирование и др.).

В результате реализации этих процессов упрочнения износостойкость деталей, а для ряда из них и циклическая прочность, повышается в несколько раз.

Исследования влияния технологических параметров жидкостной карбонитрации на результаты упрочнения показали, что оптимальной (при времени обработки от 0,5 до 5 ч) для всех исследуемых сталей является температура 843 °К.

При более низких температурах процессы в расплаве, и особенно диффузия в стали замедляются, что снижает скорость образования упрочненного слоя.

С увеличением времени и температуры процесса наблюдается рост общей толщины упрочненного слоя, однако, при большей продолжительности процесса снижается твердость.

Зависимость глубины слоя от температуры подчиняется экспоненциальному закону, а от времени – параболическому. Легирование стали приводит к уменьшению глубины диффузионного слоя при упрочнении.

Использование знакопеременных колебаний, вводимых в насыщающую среду (расплав), наряду с увеличением толщины поверхностного нитрокарбидного слоя обеспечивает повышение его плотности. Величина прироста твердости по такой схеме упрочнения (с использованием колебаний) зависит от их частоты.

Результаты исследований показывают, что, шероховатость поверхности по параметру R_a после диффузионного насыщения ухудшается на всех образцах. С повышением времени обработки свыше 3,0-3,5 часов величина R_a начинает быстро возрастать. Применение колебаний существенно снижает негативное влияние диффузионного насыщения на шероховатость поверхности.

Для оценки эксплуатационной долговечности упрочненных слоев при различных режимах обработки проведено исследование кинетики их износа.

Использование энергии колебаний существенно повышает износостойкость поверхностного слоя. Наиболее существенно это проявляется при времени обработки до 2 часов.

Сравнительная оценка износостойкости образцов, упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев, полученных на образцах из различных сталей, проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации характерно также как и для жидкостной карбонитрации наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца.

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной. При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.