

будет набор конструкторских решений и методов, связывающих конструкторские и технологические решения между собой.

При технологической подготовке на основе полученной совокупности конструкторско-технологических модулей формируются наборы технологических решений, планы обработки деталей и сборки изделия. Решение задачи технологической подготовки осуществляется во взаимосвязи с требованиями, предъявляемыми системой планирования и управления производством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. — 376с.
2. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Под ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова — Новополоцк: ПГУ, 2002. — 268с.
3. Hannam R. Computer Integrated Manufacturing: from concepts to realization. — Harlow: Addison Wesley, 1997. — 258р.
4. Чичварин Н.В. Экспертные компоненты САПР. — М.: Машиностроение, 1991. — 240с.

УДК 621.793.7

Н. В. Спиридонов

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В последнее время все более широкое применение находят технологические процессы упрочнения, основанные на использовании концентрированных потоков энергии.

К ним относятся лазерная, плазменно-дуговая, электронно-лучевая, электроимпульсная, ионно-вакуумная виды обработки, плазменное и детонационное напыление, ионная имплантация. Эти методы связаны с непосредственным использованием направленных потоков энергии и физических полей и позволяют по-новому решать задачи по повышению эксплуатационных характеристик поверхностных слоев изделий, уровня автоматизации производства и производительности труда, снижению энерго- и металлоемкости, расхода дефицитных материалов.

К основным особенностям этих технологий относятся: высокая концентрация энергии, вводимой в зону воздействия; локальность и прецизионность обработки при существенно меньших суммарных энергозатратах. За счет это-

го достигается возможность сокращения и совмещения отдельных видов обработки.

Практическое отсутствие инструмента в этих технологиях, а, следовательно, и его износа, а также механического контакта с обрабатываемой деталью, обеспечивает мобильность в управлении, возможность широкого регулирования режимов обработки в сочетании с простотой позиционирования деталей. Это преимущество дает широкую возможность использования указанных технологий в таких прогрессивных видах современного оборудования, как обрабатывающие центры, роторные линии, робототехнические комплексы, гибкие и автоматизированные системы.

Направленное изменение физико-механических свойств поверхностного слоя позволяет на качественно новом уровне решать одну из важнейших задач - обеспечение максимально возможной поверхностной прочности изделий. Как известно, практически почти все процессы, приводящие к отказам изделий — износ, коррозия, усталостные явления — начинаются с поверхности и определяются свойствами относительно тонкого поверхностного слоя.

Концентрированные потоки энергии применяются для упрочнения и восстановления деталей машин как в отдельных технологиях: в частности лазерная закалка, легирование, наплавка, так и в комплексных технологиях (напыление с последующей лазерной обработкой и т. п.).

Эти методы существенно расширяют границы использования упрочняющей и восстанавливающей технологий, как в отношении упрочняемых материалов, так и материалов покрытий. Расширяется диапазон упрочняемых деталей (по массе, конфигурации), изменяются требования к точности, структуре и составу основы.

При обработке покрытий концентрированными потоками энергии взаимодействие материалов основы и покрытия происходит в три последовательные взаимосвязанные стадии: 1) поверхностные процессы — топохимические реакции, межмолекулярное взаимодействие, поверхностная диффузия; 2) объемные процессы — тепломассоперенос; 3) зарождение и рост новых фаз или химических соединений.

Интенсивность и полнота протекания перечисленных процессов определяются свойствами материалов покрытия и основного металла (химическим составом, характером связи между атомами в кристаллической решетке, структурой, теплофизическими характеристиками, размерными параметрами), а также условиями нагрева (скоростями нагрева и охлаждения) и характеристиками внешней среды.

У материалов, активно взаимодействующих с основой (самофлюсующихся) — структурночувствительных — все три стадии протекают наиболее полно, чем у материалов инертных по отношению к основе (керамических). При объемном или поверхностном нагреве (газопламенном, печном, индукционном и т. д.) протекают все процессы взаимодействия материалов основы и покрытия, длительность которых определяется временем теплового воздействия.

Для получения качественных покрытий с высокой адгезией к основному металлу, минимальным содержанием элементов базового материала, мелкодисперсных, с высокими наследственными свойствами исходного материала необходимо обеспечить минимальную длительность контактирования твердой (основного металла) и жидкой (покрытия) фаз, создавая условия для протекания процесса формирования покрытия с максимально возможными скоростями нагрева и охлаждения. При этом уровень остаточных напряжений в покрытии повышается, что увеличивает возможность трещинообразования и отслаивания покрытия.

Локальный нагрев покрытий приводит к изменениям физико-химических процессов в системе "покрытие — основа" в отличие от объемного и поверхностного способов нагрева покрытий. Поглощенная и преобразованная в тепловую энергия распространяется в глубь покрытия за счет теплопроводности.

Воздействие КПЭ на пористые покрытия существенно отличается от его воздействия на сплошные материалы. Это связано с тем, что пористость изменяет теплофизические, оптические и некоторые физико-механические свойства материалов. В отличие от монолитного, пористый материал является термодинамически неравновесной системой с более высоким уровнем свободной поверхностной энергии и энергией искажений кристаллической решетки, что оказывает значительное влияние на геометрию зон воздействия КПЭ, развитие объемного порообразования и др.

С увеличением пористости покрытий скорость плавления, а, следовательно, и глубина проплавления, возрастают

$$V_m = \frac{Aq}{\rho[L_m + c(T_m + T_0)]},$$

где A — поглощательная способность материала; q — плотность потока излучения; L_m — удельная теплота плавления материала; ρ , c — плотность и удельная его теплоемкость; T_m и T_0 — температура соответственно плавления материала и начальная.

В начальный период воздействия КПЭ из-за большого градиента температур, а, следовательно, нестабильного термодинамического состояния системы в зонах действия потока энергии и сопряженных с ними зонах, резко повышается скорость протекания топохимических реакций и одновременно происходит увеличение числа дефектов кристаллической решетки.

КПЭ в этих процессах активизирует химические реакции, что видно из уравнения, выражающего их константу

$$K_f = 2(r_A + r_B)^2 \left(\frac{2\pi KT}{\mu} \right) \exp\left(-\frac{Ea}{KT} \right),$$

где r_A, r_B — радиусы взаимодействующих атомов; K — постоянная Больцмана; $m = (M_A M_B) / (M_A + M_B)$ — приведенная масса взаимодействующих атомов; M_A, M_B — массы атомов; E_a — энергия активации, выражающаяся через энергию связи.

Чем выше температура T , тем выше K_p , а, следовательно, и скорость протекания химических реакций.

Межмолекулярное или химическое взаимодействие элементов покрытия и основы происходит на участках с высокой активностью, т. е. в активных центрах, которые возникают в местах дефектов кристаллической решетки — вакансий, дислокаций, примесных атомов и т. д. В поверхностных слоях скорость перемещения и плотность дислокаций в условиях нестационарных тепловых полей резко повышаются, проявляется аномальная плотность атомов на высокоактивных участках. Это облегчает диффузионные процессы в приповерхностных слоях и способствует установлению химических связей покрытия с основой.

В начальной стадии нагрева происходит смыкание пор, раковин по мере увеличения пластичности материала покрытия, т. е. он уплотняется и становится монолитным.

С распространением фронта плавления в глубь покрытия свободная поверхность пор уменьшается, высвобождение поверхностной энергии вызывает повышение температуры объема расплава.

На второй стадии при температуре, близкой к температуре плавления материала покрытия, из-за большого градиента температур в зонах нагрева и прилегающих зонах происходит аномальный массоперенос, обусловленный объемной диффузией и термоконвективным перемешиванием ванны расплава (с появлением жидкой фазы).

При наличии в составе покрытий активных элементов, обладающих большей энергией связи с кислородом, чем с элементами основы и покрытия, создаются условия для протекания гетерогенных реакций восстановления окисных пленок металла. К таким элементам относятся раскислители B, Si . В процессе расплавления они диффундируют в зоны контакта покрытия и основы и межчастичных контактов со скоростями на несколько порядков выше, чем при объемном нагреве, связывая кислород. При реакции восстановления на контактирующих поверхностях создаются слои активных атомов металла с неравновесной искаженной кристаллической решеткой, что резко (на 2...3 порядка) повышает диффузионные процессы в поверхностном слое. Благодаря повышенной подвижности атомов напыленных частиц и основы увеличивается площадь контакта, происходит смачивание поверхностей и образование металлической связи покрытия и основного материала.

Первая и вторая стадии взаимодействия основы и покрытия определяют минимальную длительность их контактирования при температуре плавления последнего. При этом происходит раскисление основного материала и установление его химической связи с покрытием, причем, сохраняются наследственные свойства исходного материала покрытия. Длительность этих стадий можно рассчитать.

В дальнейшем на границе раздела фаз происходит массоперенос из твердой в жидкую тех элементов, растворимость которых в жидкой фазе выше, чем в твердой. По мере кристаллизации наблюдается обратный процесс.

Длительность третьей стадии взаимодействия определяет толщину переходной диффузионной зоны между покрытием и основным металлом. При воздействии КПЭ в результате перегрева расплава повышается растворимость легирующих элементов в основе покрытия, что сопровождается перераспределением фаз и искажениями кристаллической решетки. В процессе сверхбыстрого охлаждения фиксируется высокотемпературное состояние материала покрытия, отличающееся субмикроструктурной структурой, перенасыщенной и с равномерно распределенными легирующими элементами. Направленный теплоотвод может привести к возникновению текстуры с определенной ориентацией кристаллов, повышающей прочностные свойства покрытия. Таким образом, совокупность процессов в системе "покрытие — основа" приводит ее в состояние, характеризующееся более высокими прочностными свойствами, а, следовательно, и эксплуатационными (износостойкостью, коррозионной стойкостью и др.).