СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ИЗ ПОКРЫТИЙ РАЗНОГО СОСТАВА

Бровер Г.И., Крейнин С.В.

Донской государственный технический университет

На основе теоретических и экспериментальных исследований в работе разработан новый научный подход к процессам гипернеравновесных фазовых и структурных превращений в металлических материалах при поверхностном лазерном легировании в условиях диффузионно-лимитируемой агрегации при анормальной кинетике.

При проведении лазерного легирования сталей и сплавов на технологических лазерных установках Квант-16, Квант-18 с плотностью мощности излучения 80-250 МВт/м2 в работе использовались следующие элементы: углерод, молибден, вольфрам, хром, кобальт, никель, кремний, их комбинации и соединения: карбиды вольфрама, хрома; нитриды титана, циркония и др. Выбор химического состава покрытий и структуры поверхностных слоев материалов при лазерном легировании на разных режимах проводился с использованием их диссипативных свойств применительно к заданным условиям эксплуатации изделий, что обеспечивало самооптимизацию иерархической структуры путем организации наиболее эффективного обмена энергией и веществом как в пределах самой системы, так и с окружающей средой.

На основании результатов металлофизических исследований в работе установлено, что в зонах лазерного легирования из жидкого состояния вследствие температурных и концентрационных градиентов возникает высокая степень неравновесности жидкой фазы, бифуркационная неустойчивость расплава и переход ламинарного течения жидкости к турбулентному. Возникающие при этом вихри обеспечивают на разных масштабных уровнях диссипацию энергии, аномальные потоки массопереноса и диспергирование растущих кристаллов, то есть наноструктурные эффекты. Таким образом, лазерная жидкофазная обработка покрытий с введением в них дисперсных частиц соединений различных элементов позволяет получить нанокомпозитный материал с заданными составом, структурой и свойствами.

Большое влияние на свойства лазерно-легированных поверхностных слоев оказывает процесс практически мгновенного поглощения энергии при лазерной обработке, который приводит к генерации волн напряжений, ускоряющих процесс массопереноса легирующих элементов из покрытий в основной металл и к высокотемпературной локальной пластической деформации микрообъемов металла. Установлено, что пластическое течение осуществляется по механизму формирования складчатых полос деформации за счет образования и развития диполей частичных дисклинаций, связанных с проявлением поворотной моды пластического течения.

Отдельно следует выделить роль включений различного состава, как исходной структуры, так и вплавленных из покрытий, в формирование структуры и свойств лазерно-легированных слоев. Включения карбидов, нитридов, оксидов в поверхностных слоях материалов способствуют локализации пластической деформации путем взаимодействия с движущимися в плоскостях скольжения дислокациями и возникновению локальных пластических ротаций. В результате вокруг включений образуются сложнодеформированные диссипативные структуры, в которых наблюдается увеличение микроискажений и уменьшение блоков, то есть проявляются локальные наноструктурные эффекты. При этом включения могут являться не только концентраторами, но и релаксаторами напряжений в процессе рекристаллизации, фазовых превращений, направленного массопереноса и т.д.

Установлено, что рациональный выбор состава легирующих покрытий, полученных шликерным способом, электроискровым легированием, ионно-плазменным напылением, химическим осаждением, обеспечивает повышение твердости на 30-50% и теплостойкости на 50-70ОС рабочих поверхностей лазерно-легированных изделий. Наиболее значимо это проявляется при использовании легирующих покрытий, содержащих твердые сплавы. Кроме того, после лазерной обработки наблюдается повышение прочности адгезии покрытий с основой; снижение схватываемости лазерно-легированных поверхностей с контртелом в парах трения; уменьшение диффузионного растворения основы за счет барьерного действия лазерно-легированных поверхностных слоев; понижение температуры процесса эксплуатации пар трения благодаря теплоизоляционному эффекту облученных слоев материалов; уменьшение коэффициента трения в трибосистемах, особенно при использовании покрытий, содержащих твердые тугоплавкие карбиды, нитриды, оксиды легирующих элементов.

В результате выполненных исследований разработаны технологические принципы лазерного поверхностного упрочнения и легирования изделий различного функционального назначения, включающие схемы и режимы облучения, технологические инструкции и карты процесса.