

3. Углов, А.А. Учет немонотонности пространственного распределения лазерного излучения при расчете режимов термической обработки массивных изделий / А.А. Углов [и др.] // *МиТОМ*. – 1989. – № 11. – С. 9 – 13. 4. Югов В. Высокоэффективная технология ресурсосбережения: лазерная поверхностная обработка // *Фотоника*. – 2012. №4. с. 12-20.

УДК 621.785

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ ДИФФУЗИОННЫЕ СЛОИ СО СТРУКТУРОЙ ШАРПИ**

*Менделеева О.Л.*

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Для эксплуатации в условиях трения и высоких удельных нагрузок требуется конструкционный материал со структурой композита - сталь с термически упрочненной, вязкой сердцевиной и износостойким диффузионным слоем на поверхности.

Износостойкие структуры Шарпи содержат металлоподобные соединения, прочно удерживаемые в пластичной матрице твердого раствора. Такая матрица обладает высокой ударной вязкостью и пластичностью, и, следовательно, значительной демпфирующей способностью. И, хотя пластическая деформация в микрообъемах твердого раствора вокруг кристаллов упрочняющих фаз характеризуется высоким уровнем микронапряжений, но поглощенная матрицей энергия (теплота пластического трения) инициирует рекристаллизационные процессы, благодаря которым состояние структуры отличается малой дефектностью и близко к равновесному.

Существуют некоторые требования к кристаллической структуре упрочняющей фазы (металлоподобного соединения). Его кристаллическая структура должна обладать симметрией кубической или гексагональной сингонии - это обеспечит кристаллу металлоподобного соединения удовлетворительные в условиях трения механические характеристики, такие как модуль упругости, временное сопротивление разрушению при одноосном растяжении, прочность при изгибе и микротвердость.

Периоды кристаллических решеток сопряженных фаз должны значительно отличаться, чтобы межфазная граница соединения с твердым раствором была некогерентной с высокой энергией поверхностей раздела. Но удельные объемы фаз должны быть близки, в этом случае кристаллизация соединения в пластичной матрице пройдет с небольшим объемным эффектом, и энергия упругих взаимодействий будет иметь небольшую величину.

При соблюдении этих условий граница раздела фаз будет криволинейной, а форма кристаллов соединения - близкая к сфероидной (не угловатая). Это позволит снизить количество микроконцентраторов напряжений (и избежать зарождения хрупкой трещины).

За период приработки пары трения происходит частичное удаление с поверхности более мягкого материала матрицы (твердого раствора) и формируется микрорельеф с выступающими кристаллами соединения. Коэффициент трения значительно снижается за счет уменьшения площади контакта поверхно-

стей, а также высоких значений микротвердости и нормального модуля упругости металлоподобных соединений, стойких к истиранию. При наличии смазки коэффициент трения снижается до величин, близких к нулю, т.к. в структурах Шарпи возникает эффект «гидропланирования»: смазка при высоких скоростях вращения, находится в условиях всестороннего сжатия.

Структуру Шарпи можно получить в диффузионных слоях на основе твердого раствора. Основным критерием выбора насыщающего элемента является его растворимость в основном металле сплава и способность образовать металлоподобное соединение с компонентами сплава. В таких системах при равновесных условиях ХТО формируется диффузионный слой с поверхностной зоной соединения, отделенной границей раздела от других зон, расположенных ниже. Чтобы при температуре ХТО не происходила кристаллизация упрочняющей фазы в виде отдельной зоны диффузионного слоя, следует изменить технологические параметры ХТО и спровоцировать кристаллизацию изолированных кристаллов соединения в микрообъемах пересыщения твердого раствора или его распад в процессе последующего охлаждения или термической обработки. Упрочнение поверхности при формировании структуры Шарпи эффективнее в диффузионных слоях на основе многокомпонентных твердых растворов.

Примеры технологических решений ХТО:

1. Если насыщающий элемент испытывает большее сродство к легирующим элементам сплава, а не к основному металлу, то в результате встречной диффузии легирующих элементов к поверхности происходит кристаллизация соединений. Образование изолированных кристаллов соединений возможно при большей скорости диффузии насыщающего элемента по сравнению с компонентами сплава или при термоциклическом режиме ХТО. Пример: карбидизация сталей (при температуре ХТО структура диффузионного слоя: дисперсные включения карбидов в аустените).

2. Если насыщающий потенциал среды хотя бы частично перекрывает область гомогенности соединения, но соединение имеет температуру кристаллизации ниже температуры ХТО, то микрообъемы твердого раствора с максимальным содержанием насыщающего элемента формируются не на поверхности насыщения, а на некотором удалении от нее. В таких микрообъемах образуются изолированные дисперсные кристаллы соединения. Пример: хромирование низкоуглеродистых сталей в высокохромистых средах (структура диффузионного слоя: дисперсные включения  $\sigma$ -фазы в феррите).

3. Если в процессе ХТО изменять мощность диффузионного источника, то кристаллы соединения, образовавшиеся в период насыщения при избыточном потенциале среды, будут частично растворяться в «диффузионный» период за счет отвода насыщающего элемента от поверхности вглубь изделия. Такая технология позволяет получать диффузионные слои большой толщины, избежать образования сетки вторичной фазы (металлоподобного соединения) и значительно повысить прочностные характеристики диффузионного слоя за счет присутствия большого количества дисперсных сфероидных кристаллов. При-

мер: вакуумная цементация (при температуре ХТО структура диффузионного слоя: дисперсные включения карбидов в аустените).

4. Если насыщающий элемент ограничено растворим в основном металле и при температуре ХТО формируется пересыщенный по насыщающему элементу твердый раствор, то при старении происходит его распад с выделением изолированных дисперсных кристаллов фазы более богатой насыщающим элементом. Пример: старение зоны внутреннего азотирования сталей, легированных нитридообразующими элементами (структура диффузионного слоя: дисперсные включения нитридов в феррите).

УДК 535.21:621.357.77

## **РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОСТИ**

*Лецик С.Д., Шупан П.И., Сергиенко И.Г.*

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы Гродно, Республика Беларусь

В связи с возросшим интересом к свойствам объектов нанометрового масштаба в последние десятилетия активно исследуются процессы, протекающие при лазерном воздействии на вещество. Вследствие взаимодействия лазерного излучения с веществом часть материала мишени удаляется в окружающую среду. Известно, что наночастицы практически любого материала образуются при воздействии на него достаточно мощного лазерного импульса. Лазерная абляция твердых мишеней, погруженных в жидкость, является известным способом получения различных наночастиц [1].

В зависимости от интенсивности лазерного излучения продуктами абляции могут быть атомы, ионы, молекулы вещества, а также сформированные кластеры и наночастицы, вылетающие из зоны воздействия с высокой кинетической энергией. Аблированные при высокой температуре атомы вещества могут взаимодействовать с молекулами окружающей среды с образованием новых соединений [2]. Если окружающей средой является жидкость, тогда возможно получать кинетически устойчивые коллоидные растворы. Лазерная абляция представляет интерес как с точки зрения формирования структур на поверхности мишени, так и с точки зрения образования наночастиц.

Материалами облучаемых мишеней при ИЛА являлись никель и цинк. В качестве жидкой среды, в которой осуществлялась абляция, использовали дистиллированную воду. Абляцию осуществляли с помощью неодимового лазера LS-2147 при различных режимах: абляция никеля при длине волны 532 нм., энергии в импульсе 30 мДж.; абляция цинка при длине волны 1064 нм., энергии в импульсе 10 мДж. Импульсы следовали с частотой 10 Гц; количество импульсов – 18000. Мишени находились под слоем дистиллированной воды на глубине 8 мм.