

18. Чуканов А. Н. Оценка состояния материала путем комплексного анализа неупругих эффектов в спектре внутреннего трения // Конденсированные среды и межфазные границы.- Воронеж, - 2006 - Т. 7 - № 4. - С. 450-453.
19. Левин Д.М., Чуканов А.Н. Влияние локализованных напряжений, создаваемых структурными дефектами, на динамику дислокационных скоплений// Известия РАН. Серия физическая.-2005.-Т.69 - № 8 .- С. 1201 – 1205.
20. Левин Д.М., Чуканов А.Н., Муравлева Л.В. Спектр внутреннего трения чугунов//Изв. Тульского государственного университета. Серия Физика. Вып. 1, - ТулГУ. Тула - 1998.-С. 72-75.
21. Левин Д.М., Чуканов А.Н., Муравлева Л.В. Исследование неупругих свойств материалов, содержащих дефекты водородной поврежденности// Известия ТулГУ. Материаловедение. - 2000. -вып. 1. -С. 48 - 51.
22. Чуканов А.Н., Левин Д.М. Влияние деформационной поврежденности на параметры тонкой структуры и механическое состояние сталей//Конденсированные среды и межфазные границы.-Воронеж, 2003. -Т.5 - Вып 3. - С. 328 - 332.
23. Чуканов А.Н., Солдатова Е.И. Аналитическое описание диаграмм деформации и накопление повреждаемости малоуглеродистой стали//Известия ТулГУ. Материаловедение. - 2000. - вып. 1. -С. 151 - 155.
24. Чуканов А.Н. Деформационная восстановительная обработка сортового проката углеродистых сталей//Известия ТулГУ. Серия: Материаловедение.-2002.-вып. №2 - С. 68-71.
25. Левин Д.М., Чуканов А.Н, Муравлева Л.В. Релаксационные критерии в прогнозировании остаточного ресурса промышленных объектов//Вестник Тамбовского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки.-Тамбов, 2003.-Т 8.-Вып. 4.- С. 634 - 637.
26. Чуканов А.Н., Левин Д.М. Описание локального предельного состояния металлов на основе параметров неупругих эффектов// Deformation & Fracture of Materials -DFM2006/Book of articles – Moscow: Interkontakt Nauka, 2006, P. 747-750.

УДК 541.34:669.28

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ

Лесюк Е. А.

Московский государственный индустриальный университет
lesyuk@elsite.ru

Ультразвуковая упрочняющая обработка (УЗО) является весьма напряженным в тепловом отношении методом обработки металлов и сплавов. Для предотвращения рекристаллизационных процессов в нано- и микроструктурах предложены высокоэффективные системы охлаждения. Проведено экспериментальное исследование влияния разных видов охлаждения при УЗО на структуру и прочностные характеристики поверхности обработанных деталей.

Для процесса ультразвуковой обработки требуется ультразвуковой генератор, магнитострикционный или пьезострикционный преобразователь, станок и приспособление, фиксирующее преобразователь на суппорте станка. Вид установки для применения данного вида обработки приведен на рис. 1.

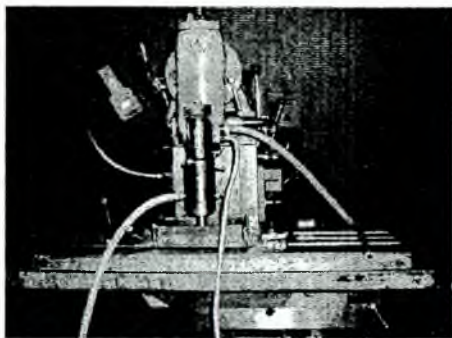


Рис. 1. Внешний вид установки для ультразвуковой импульсной упрочняющей обработки поверхности плоских деталей на фрезерном станке.

Принцип действия установки следующий. На обмотку преобразователя от источника питания по кабелю через штуцер подается напряжение. Под воздействием магнитного поля за счет магнитострикционного эффекта преобразователь изменяет свои линейные размеры с частотой, равной частоте переменного тока возбуждения. В концентраторе возникают продольные механические колебания, которые передаются волноводу и далее ультразвуковому излучателю. Излучатель, вступивший в контактное взаимодействие с обрабатываемой деталью, при определенном статическом усилии передает ультразвуковую энергию в ее поверхностные слои. По-

верхность детали пластически деформируется и упрочняется.

Разработанная технология поверхностной упрочняющей ультразвуковой обработки массивных деталей из закалённых конструкционных и инструментальных сталей позволяет получать высокую твердость и прочность за счёт создания нанокристаллических структур с размером зерна 5–10 нм на глубине 15–20 мкм от поверхности и субмикроструктурной структуры на глубине 250–300 мкм от поверхности. При этом наблюдается возрастание твердости с исходного уровня 44–46 до 54–56, а в ряде случаев – до 68–70 HRC. Величина шероховатости снижается до 0,05–0,08 мкм, понижая коэффициент трения более чем в 2 раза.

В поверхностных слоях на глубинах до 150–200 мкм возникают остаточные напряжения сжатия, резко повышающие предел хрупкой и усталостной прочности. Рентгеновским методом исследован характер распределения внутренних остаточных напряжений от поверхности в глубину обработанных УЗО материалов. Уровень внутренних сжимающих напряжений составляет 800–850 МПа на глубине до 150 мкм от обработанной УЗО поверхности. Далее он постепенно спадает, но сохраняет величину порядка 200–400 МПа до глубины 250–300 мкм.

Методом горячей микротвердости показано, что порог термической стабильности, полученной после УЗО нано- и субмикроструктурной структуры составляет 450–500 °С.

При ультразвуковом упрочнении материал подвергается многократным интенсивным пластическим деформациям, которые связаны с развиваемым теплом: до 80–90% затраченной работы переходит в тепло, и лишь 20–10% остается в теле в виде остаточных напряжений. Выделившееся тепло повышает температуру металла в очаге пластической деформации до 800–1000 °С и, благодаря высокой теплопроводности, быстро распределяется по объему тела. Это приводит к большей или меньшей эволюции наноструктуры, сопровождаемая изменением физических, химических, механических и других свойств. В связи с этим для УЗО предложены и исследованы высокоэффективные системы охлаждения, обеспечивающие такие условия теплообмена с окружающей средой, при которых температура обрабатываемой поверхности металла не превосходит бы порога термической стабильности нано- и субмикроструктур.

Анализ характеристик существующих установок, перспективных возможностей и тенденций развития циклов, схем и методов охлаждения позволяет сделать ряд общих

рекомендаций по выбору холодильных систем, которые могут использоваться при УЗО. К основным показателям, по которым осуществляется выбор, относятся: температура охлаждения, холодопроизводительность, эксергетический КПД, масса и ресурс работы системы. Первые два из этих показателей являются основными; важность других диктуется конкретными условиями работы системы. При УЗО можно рекомендовать применение жидкостных и комбинированных холодильных систем ввиду их высокой эффективности, а также вихревой трубы из-за простоты ее изготовления и применения в технологическом процессе.

Проведено экспериментальное исследование влияния охлаждения при УЗО на свойства обрабатываемых сталей. Исследован широкий диапазон сталей: от Ст3 до P18. Обработка экспериментальных плоских образцов производилась на универсальном фрезерном станке, на суппорте которого фиксировался ультразвуковой инструмент. В процессе эксперимента при неизменных амплитуде колебаний, линейной скорости, величине подачи и диаметре сферы рабочего инструмента менялись статическая нагрузка и вид охлаждения (естественное воздушное, естественное жидкостное, комбинированное).

Естественное воздушное охлаждение осуществляется без дополнительных затрат энергии и является наиболее простым, надежным и дешевым. Но использование этого способа возможно лишь при небольших тепловыделениях при обработке детали. Естественное жидкостное охлаждение обрабатываемой поверхности и рабочего инструмента заключается в частичном их погружении в ванну с керосином. Съем теплоты осуществляется в процессе кипения керосина на охлаждаемой поверхности. Движение теплоносителя осуществляется за счет разности плотностей. В комбинированной системе охлаждения применялось сочетание воздушного, жидкостного, испарительного охлаждения. Самой простой разновидностью комбинированной системы охлаждения является оросительное охлаждение (СОЖ). В такой системе поток жидкости орошает нагретую поверхность. Охлаждение производится за счет испарения жидкости, конвективного теплообмена между охлаждаемой поверхностью, стекающей пленкой жидкости и воздуха. Такая система охлаждения более эффективна, чем воздушная, но менее эффективна, чем жидкостная.

На рис. 1 приведена структура поверхностного слоя после УЗО. При использовании жидкостного охлаждения получаем более диспергированную структуру.

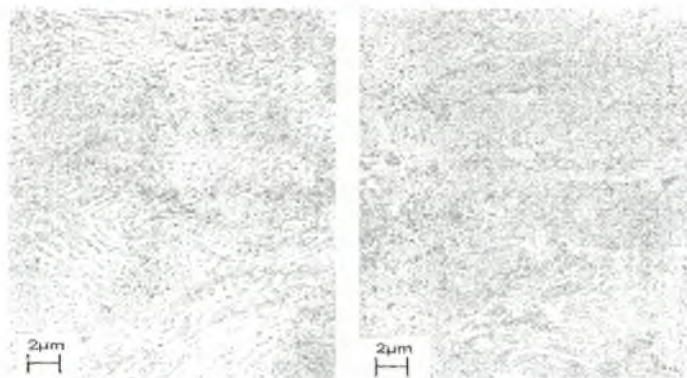


Рис. 1. Структура поверхностного слоя Ст45 после обработки УЗО с охлаждением СОЖ (слева) и с охлаждением в ванне с керосином (справа).

Результаты экспериментов показали, что вид охлаждения при УЗО существенно влияет на прочностные характеристики обработанной поверхности. Микротвердость растет тем значительнее, чем эффективнее способ охлаждения (рис. 2–4). На рисунках представлены данные для процесса УЗО со следующими технологическими параметрами: амплитуда ультразвукового инструмента $2A = 20$ мкм, линейная скорость $V = 0,3$ м/мин, подача $S = 0,15$ мм, диаметр шарика инструмента $D = 10$ мм. Например, из рис. 2 видно, что для стали 9ХС микротвердость возрастет с 39 HRC с воздушным охлаждением до 52 HRC – с жидкостным. Для разных видов сталей рост прочностных характеристик при переходе от воздушного к комбинированному виду охлаждения составляет в среднем 20%. Замена же воздушного охлаждения жидкостным позволяет улучшить прочностные показатели в среднем на 35%.

Установлено, что при жидкостном охлаждении керосином по сравнению с использованием СОЖ, глубина проникновения упрочненного слоя возрастает на 20%. Применение в технологической схеме УЗО жидкостного охлаждения позволяет увеличить слой тонкой нанокристаллической структуры на деталях любых размеров и любой геометрии до 20–25 мкм.

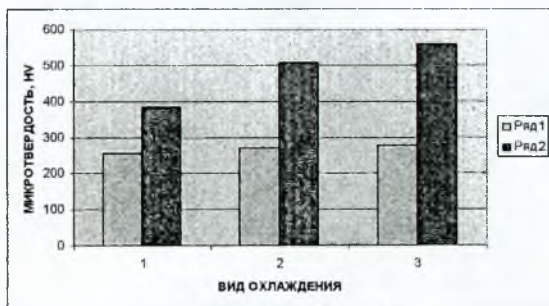


Рис. 2. Зависимость микротвердости стали Ст3 (ряд1) и 9ХС (ряд2) от вида охлаждения. Виды охлаждения: 1 – воздушное, 2 – СОЖ, 3 – жидкостное. Статическая нагрузка 15 кгс.

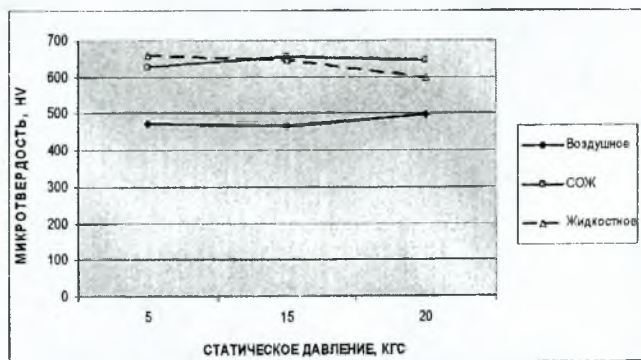


Рис. 3. Зависимость микротвердости стали Ст45 от статической нагрузки и вида охлаждения.

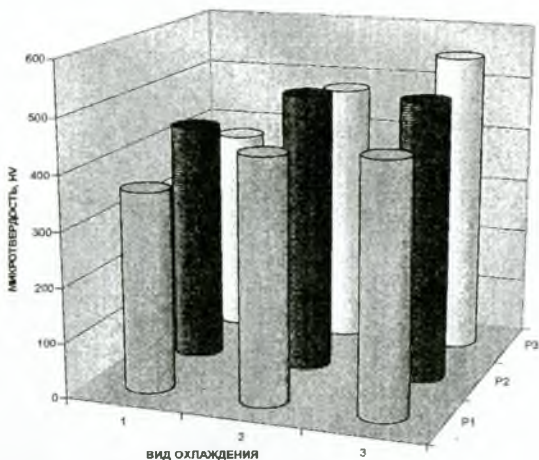


Рис. 4. Зависимость микротвердости стали P18 от вида охлаждения и статической нагрузки. Виды охлаждения: 1 – воздушное, 2 – СОЖ, 3 – жидкостное. Статическая нагрузка: $P_1 = 5$ кгс, $P_2 = 15$ кгс, $P_3 = 20$ кгс.

При изменении технологических параметров УЗО в сторону увеличения числа ударов на единицу поверхности естественное воздушное охлаждение не дает нужного результата. Появляются цвета побежалости, металл разупрочняется. Сказывается влияние повышенных температур, а также появление эффекта переупрочнения и контактной усталости. Заметим, что все вышесказанное относится к охлаждению рабочей пары ультразвуковой инструмент – деталь до температур окружающей среды ($18-25^{\circ}\text{C}$). Охлаждение до более низких температур не только не улучшает результатов УЗО, а в ряде случаев может привести к обратному эффекту. Это показали исследования процесса УЗО с охлаждением обрабатываемой поверхности парами азота.

Выводы

Разработана технология поверхностной упрочняющей ультразвуковой обработки (УЗО) массивных деталей из закалённых конструкционных и инструментальных сталей для получения высокой твёрдости и прочности за счёт создания нанокристаллических структур с размером зерна $5-10$ нм на глубине $15-20$ мкм от поверхности и субмикроструктуры на глубине $250-300$ мкм от поверхности. При этом наблюдается возрастание твёрдости с исходного уровня $44-46$ до $54-56$, а в ряде случаев – до $68-70$ HRC. Учитывая, что до настоящего времени проблема получения нанокристаллических структур с соответствующим повышением физико-механических свойств на массивных деталях еще не решена, полученные результаты являются весьма нетривиальными. Они дают возможность получения очень тонкой нанокристаллической структуры на деталях любых размеров и любой геометрии на глубинах $15-20$ мкм.

Проведенный анализ теплофизических процессов при УЗО и экспериментальные исследования показали, что УЗО является весьма напряженным в тепловом отношении

методом обработки материалов. Температура в зоне контакта ультразвукового инструмента и обрабатываемой детали в момент удара повышается до $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$. В то время, как порог термической стабильности полученных нано- и субмикроструктур не превосходит $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$. Для решения вопроса быстрого локального теплоотвода от пятна контакта инструмента и обрабатываемой детали при УЗО рекомендовано применение жидкостных и комбинированных систем ввиду их высокой эффективности, а также вихревой трубы из-за простоты ее изготовления и применения в технологическом процессе.

Показано, что охлаждение при УЗО существенно влияет структуру и прочностные характеристики обработанного материала. Микротвердость обработанной поверхности после УЗО с охлаждением растет тем значительно, чем эффективнее способ охлаждения.

Установлено, что при жидкостном охлаждении по сравнению с использованием СОЖ, глубина проникновения упрочненного слоя возрастает на 20%. Применение в технологической схеме УЗО жидкостного охлаждения позволяет увеличить слой тонкой нанокристаллической структуры на деталях любых размеров и любой геометрии до 20–25 мкм.

УДК 541.34:669.28

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ

Алехин В. П., Лесюк Е. А., Галкина Е. Г.

Московский государственный индустриальный университет
lesyuk@elsite.ru

Проблема получения высокопрочного никелида титана решается за счет многократных интенсивных деформаций и диспергирования структуры вплоть до нанокристаллических размеров с использованием продольной прокатки полосы никелида титана в валах прокатного стана. Представлена эволюция структуры никелида титана в процессе пластической деформации.

В настоящее время основными технологическими приемами получения наноматериалов являются: порошковая технология, технология пленок и покрытий, контролируемая кристаллизация из аморфного состояния, интенсивная пластическая деформация. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Нами предлагается технология получения высокопрочного никелида титана за счет многократных интенсивных деформаций и диспергирования структуры вплоть до нанокристаллических размеров с использованием продольной прокатки полосы никелида титана в валах прокатного стана. Разработанная технология позволяет получать массивные образцы никелида титана с нанокристаллической структурой и может осуществляться на обычном, используемом в производстве оборудовании.

Никелид титана представляет значительный научный интерес в связи с тем, что у него в довольно узком интервале концентраций вблизи экваторного состава наблюдается ряд структурных фазовых переходов, определяющих широкий спектр физико-механических свойств. Эффекты и явления, наблюдаемые на этом соединении, во многом присущи всему классу материалов, в которых возможно мартенситное превращение.