

Как и ожидалось, образцы с цинковым диффузионным слоем продемонстрировали меньшую долговечность и меньшее предельное напряжение при изгибе в сравнении со стальными образцами без защитного цинкового покрытия. Данный факт может быть обусловлен формированием хрупких интерметаллидных фаз (Γ - фаза) в переходной зоне от стальной основы к диффузионному слою в исследуемых образцах. Они являются концентраторами напряжений, которые, при увеличении знакопеременной внешней нагрузки, могут являться причиной зарождения усталостной трещины.

Не смотря на то, что в отличие от классических способов нанесения защитных покрытий на основе цинка для термодиффузионного цинкования возможно разупрочнение изделий, прошедших предварительную термическую обработку, рациональный подход к выбору температурных режимов, а так же учет регламентируемых прочностных параметров обрабатываемого изделия, позволит выгодно применять данный способ в качестве антикоррозионной защиты. Для ряда деталей, испытывающих в процессе эксплуатации до 10^2 циклов нагружений, (статическое нагружение), эффективным решением является совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия, что позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку. Для деталей, работающих в условиях повторностатического (малоциклового) и усталостного (многоциклового) нагружений, испытывающих при эксплуатации свыше 10^4 циклов нагружений, антикоррозионная защита способом ТДЦ, может стать причиной снижения усталостных свойств за счет наличия высокотвердых хрупких фаз в цинковом диффузионном слое.

Список литературы

1. Проскуркин, Е.В. Диффузионные цинковые покрытия / Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – Москва: Металлургия, 1972. – 248 с.
2. Константинов В.М., Гурченко П.С., Булойчик И.А. Разработка совмещенного процесса термической и антикоррозионной обработки стальных деталей автотехники, Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении-2014, Минск 2014 том 3, С. 384-387.
3. Константинов В.М., Булойчик И.А. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering 71/ 012063. 2015.
4. В.М. Константинов, Булойчик И.А. К проблеме прочности диффузионно оцинкованных изделий. Международный симпозиум: Перспективные материалы и технологии. Витебск 2013 г. С.166-168

ВЛИЯНИЕ ТИПА МАТЕРИАЛА НА ХАРАКТЕР ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ОСЕВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Андронов И.Н., Богданов Н.П.

*Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия,
iandronov@ugtu.net*

В данном сообщении рассматриваются общие закономерности явления осевого деформирования, инициируемого пластическим кручением металлических труб и стержней. С целью выявления структурно-механической природы кручения как собственно вида нагружения проведен сравнительный анализ закономерностей с материалами, отличающимися кристаллографией скольжения и механизмами протекания микродеформаций.

При комнатной температуре закручивание сплошных медных образцов приводит к осевой деформации ε , интенсивность которой нарастает по мере увеличения угловой деформации (рис. 1а). Суммарная деформация за полный симметричный знакопеременный цикл кручения не равна нулю и всегда положительна. Рассматривая влияние вида кристаллической решетки на реализацию эффекта, предпочтительными являются поликристаллы цинка с ГПУ-решеткой, кристаллография которых существенно отличается от кубических кристаллов. Сравнивая полученные данные в цинке (рис. 1б) с результатами испытаний металлов с кубической решеткой можно видеть существенное различие в результатах опытов.

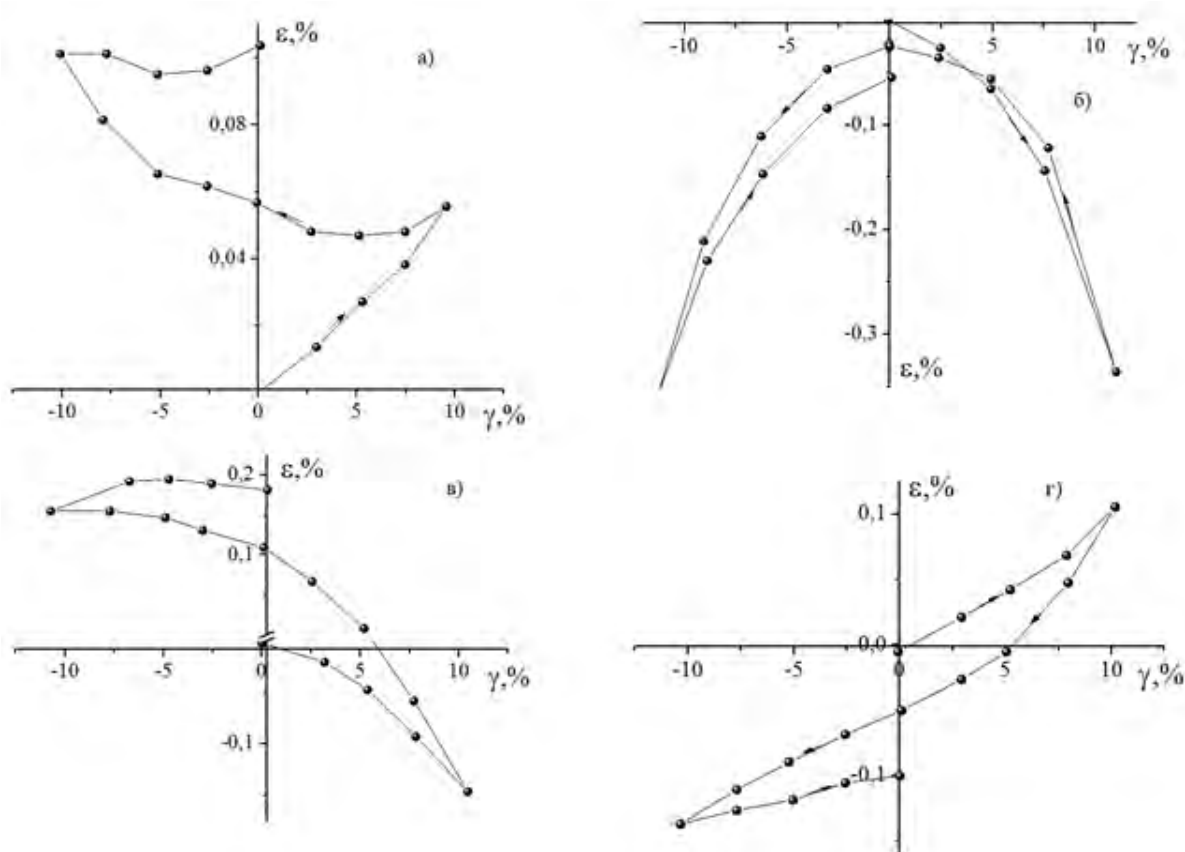


Рис. 1. Кинетика изменения линейных размеров образцов при сдвиговой деформации для материалов с различной кристаллической структурой: технически чистой меди (а), цинка (б), Cu-38%вес Mn (в), олова (г)

Если образцы из сплавов с кубической структурой при кручении только удлиняются, образцы из цинка в том же режиме кручения только укорачиваются, причем кривизна ε - γ диаграмм разного знака. Сделан вывод: способность материала к осевому деформированию и конкретика его проявления сильно зависит от кристаллографической структуры объекта.

Исследования на материалах, механизм деформирования которых не сводится к дислокационному каналу (при комнатной температуре деформируются двойникованием ряд сплавов MnCu и олово) показали, что для зависимостей ε - γ диаграмм в материалах с двойниковым механизмом неупругости (рис. 1 в, г) характерен заметный наклон к оси.

При изучения влияния неоднородного напряженного состояния на реализацию эффекта осевого деформирования, сравнивали поведение материала (медь технической чистоты, алюминиевый сплав) при закручивании трубчатых образцов и сплошных разного диаметра (6 мм и 4 мм). Если осевое деформирование при кручении обусловлено радиальными градиентами касательных напряжений, то в трубчатых образцах оно должно быть

либо меньше, либо отсутствовать вообще. Испытания выполнены при комнатной температуре и скорости $\dot{\gamma} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ для амплитуд сдвиговой деформации $6 \div 25\%$. Отмечается, что геометрия скручиваемого образца сказывается на масштабе осевой деформации. В трубчатых образцах эффект накопления осевой деформации выражен сильнее, чем в сплошных. Образцы с диаметром рабочей части 4 мм при кручении демонстрируют удлинение в большей степени, чем образцы, у которых диаметр рабочей части 6 мм (рис. 2). Надо полагать, что это исключает объяснение эффекта осевого деформирования через действие осевых, радиальных или окружных напряжений, поскольку, их величина, конечно, у труб меньше, чем у стержней.

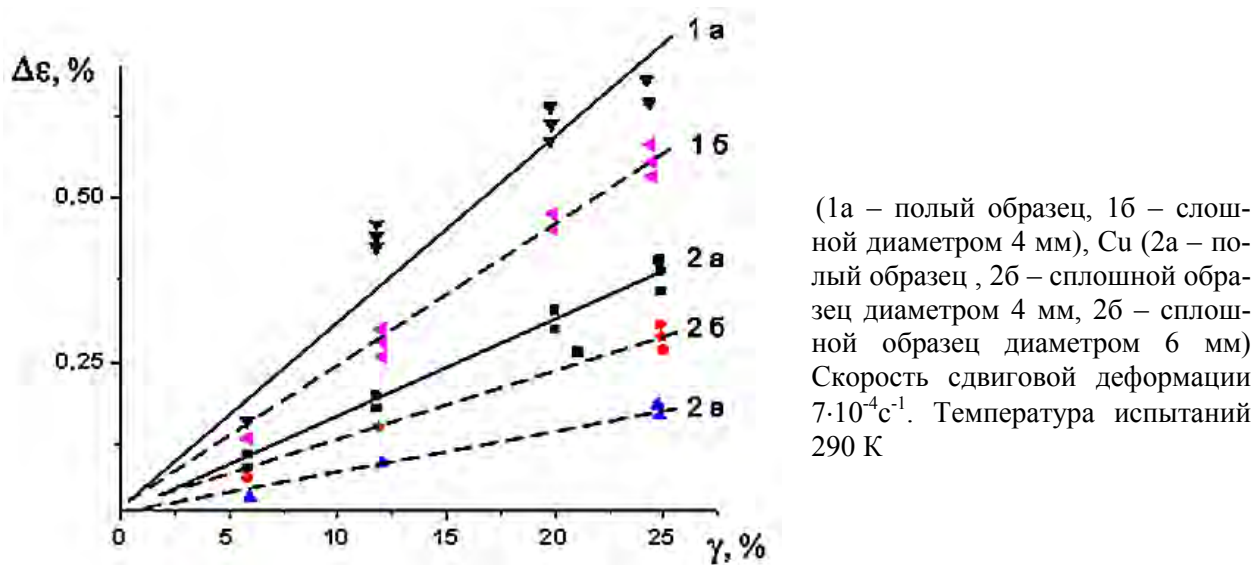


Рис. 2. Зависимость приращения осевой деформации за один цикл кручения от амплитуды деформации γ для отожженных образцов D16AT

Ответу на вопрос, в какой мере конкретный механизм неупругости сказывается на кинетике осевой деформации при кручении, посвящен следующий эксперимент. Удобными объектами исследования в этом смысле являются сплавы с мартенситным каналом неупругости, так как у них можно создать существенно различающуюся структуру и существенно различающиеся способы деформации для выбранного температурно-деформационного режима кручения. При температуре ниже M_k , материал всегда находится только в мартенситном состоянии, а при температуре выше A_k – только в аустенитном. В тоже время, при $M_n < T < A_n$ он может иметь либо структуру мартенсита, либо структуру аустенита. Если материал охладить, а затем нагреть до T , он будет иметь структуру мартенсита. В то же время, если его нагреть, а затем охладить до T , состояние будет аустенитным. В результате появляется возможность сравнить особенности деформирования одного и того же объекта при одной и той же температуре T , но в одном случае с мартенситной структурой, а в другом – с аустенитной, более того, сравнивая свойства материала в устойчивом мартенситном и аустенитном состоянии, можно понять, каково влияние структурного и температурного факторов. Данная идея была реализована на эквивалентном никелиде титана с характеристическими температурами $M_k = 320 \text{ К}$, $M_n = 365 \text{ К}$, $A_n = 460 \text{ К}$, $A_k = 520 \text{ К}$. Показано, что эффект осевого деформирования при кручении проявляется для любых исходных структур, конкретные закономерности явления существенным образом зависят от структурного состояния материала, что можно объяснить неодинаковой текстурой, порождаемой кручением (рис. 3).

Одной из вероятных причин возникновения осевой деформации могут быть текстуры материала, получаемые в результате технологических процессов изготовления. Результаты испытаний, проведенных на образцах, выполненных из волооченного прутка, а также образцах, изготовленных из прокатанной меди вдоль и поперек направления прокатки, показывают, что характер реализации осевого эффекта при кручении одинаков.

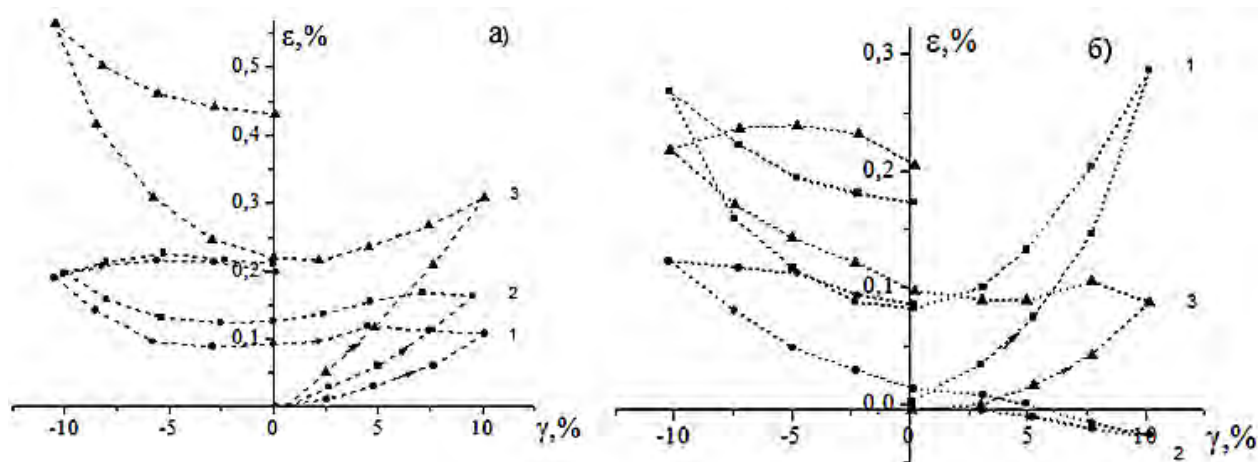


Рис. 3. Зависимости осевой деформации ε от сдвиговой γ в никелиде титана при различной последовательности достижения температуры деформирования: а) аустенит \rightarrow аустенит + мартенсит \rightarrow мартенсит 650 К(1), 400(2), 290(3); б) мартенсит \rightarrow мартенсит + аустенит \rightarrow аустенит 290 К (1), 400(2), 700(3)

Оценивая результаты экспериментов, а также данные из литературы [1÷3], приходим к выводу, что эффект осевого деформирования присущ материалам с существенно различными механизмами протекания микродеформации. Это свидетельствует о том, что явление осевого деформирования можно связывать не столько со структурными особенностями и механизмами реализации массопереноса, сколько со спецификой самого кручения как вида нагружения. Среди возможных, причин появления такого эффекта основной следует считать эволюцию текстуры материала в процессе кручения, что делает скручиваемый объект макроскопически анизотропным. Об этом говорят данные, о поведении труб и сплошных образцов из материалов с эффектом памяти формы, которые, как известно, испытывают особенно большие текстурные эволюции даже при малых деформациях.

Список литературы

1. Ишлинский, А. Ю. О напряженном состоянии упругого цилиндра при больших углах крутки [Текст] / А. Ю. Ишлинский // Прикл. мат. и мех. VII. – Вып. 3. – 1949. – С. 223–225.
2. Риз, П. М. О некоторых вторичных явлениях при кручении круглого цилиндра [Текст] / П. М. Риз // Труды ЦАГИ. – Вып. 408. – 1939.
3. Лурье, А. И. Нелинейная теория упругости [Текст] / А. И. Лурье. // – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.