

PACS: 61.72.Mm, 81.40.Lm

Н.И. Матросов, В.В. Чишко, Э.А. Медведская, Л.Ф. Сенникова,
Е.А. Павловская

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ СХЕМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина
E-mail: chishko@ukr.net

Статья поступила в редакцию 26 апреля 2005 года

Исследовано влияние циклической деформации изгибом и изгибом, совмещенным с кручением, при дискретном изменении направления деформации на механические свойства нержавеющей стали, меди и сплава ниобий–титан.

Введение

Известно, что рост гидростатического давления, изменение направления деформации и повышение температуры стимулируют залечивание дефектов или уменьшают их образование и развитие [1]. Знакопеременная деформация приводит к более медленному пластическому разрыхлению обрабатываемого материала, формирует мелкодисперсную однородную микро- и субструктуры. Закономерности изменения механических свойств металлов при знакопеременном деформировании могут в значительной мере отличаться от таковых при монотонном деформировании. В частности, при монотонном холодном деформировании материал всегда упрочняется, а при знакопеременном – может циклически упрочняться, разупрочняться либо быть циклически стабильным [2–5].

Интерес к таким сложным знакопеременным нагружениям связан с тем, что знакопеременный характер деформирования с промежуточными разгрузками в комбинации с монотонной деформацией в той или иной мере наблюдается в большинстве процессов обработки металлов давлением (ОМД).

В настоящее время в практике широко используются: холодная правка профильных изделий из различных металлов, в том числе и композиционных материалов, на роликоправильных машинах; удаление окалины с проволоочной заготовки знакопеременным изгибом; перематка с катушки на катушку; правка проволоки вращающейся правильной рамкой. Технологические процессы ОМД включают операции знакопеременного пластического или упругопластического изгиба и кручения, при которых возможно изменение механических свойств обрабатываемых металлов.

Поэтому представляет интерес исследование изменений механических свойств, учет влияния этих изменений для металлов и, в частности, биметалла на основе сплава ниобия с титаном в медной оболочке как конструктивного элемента в технологии получения пакетным способом многоволоконистого сверхпроводящего провода при обработке знакопеременным изгибом–кручением и в комбинации с последующей монотонной деформацией – волочением.

Изучение влияния схемы знакопеременного деформирования на прочность и другие свойства проволочных объектов и является целью настоящей работы.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований служили проволочные заготовки диаметром 0.4–0.5 mm из меди МОБ и стали 12X18Н10Т, а также биметаллическая проволока диаметром 0.4–0.5 mm на основе сплава Nb + 50 wt% Ti и меди МОБ с объемным содержанием сплава $V_f = 0.402$.

Изучали следующие схемы обработки:

1. Исходную заготовку длиной ≥ 1 m обрабатывали знакопеременным сосредоточенным изгибом протягиванием через 5-угловую деформирующую систему каналов, образованную смещением пяти твердосплавных вкладышей – волок в направлении, перпендикулярном оси волочения (рис. 1,а). Накопление деформации в заготовке осуществляли 24 проходами при амплитуде (интенсивности) изгиба $\theta_1 = \theta_5 = 87^\circ$, $\theta_2 = \theta_4 = 81^\circ$, $\theta_3 = 72^\circ$. В каждом последующем проходе (цикле) деформирующую систему поворачивали фиксированно в одну сторону на 90° , изменяя при этом положение плоскости изгиба в пространстве.

2. Заготовку длиной ≥ 1 m обрабатывали знакопеременной деформацией пластическим изгибом с одновременным подкручиванием заготовки при ее волочении через вращающуюся 4-угловую схему, образованную четырьмя смещенными относительно оси волочения роликами (рис. 1,б). Накопление в заготовке деформации аналогичной (по нашим весьма приближенным оценкам) величины в первой схеме осуществляли 5 проходами со сменой направления кручения в каждом цикле при амплитудах изгиба $\theta_1 = \theta_4 = 79^\circ$, $\theta_2 = \theta_3 = 60^\circ$ и степени закручивания образца $n = 6$ rev/cycle. Оценку величины накопленной деформации как произведения количества циклов на сумму единичных деформаций изгиба–кручения в цикле выполняли на основе подходов, изложенных в работах [6,7].

3. Образцы, обработанные по схемам 1 и 2, волочили традиционным способом по маршруту до диаметра 0.2–0.148 mm с суммарной степенью деформации соответственно 75 и 91.2%.

4. Образцы сплава НТ50 в биметаллическом исполнении без предварительной обработки и обработанные по схеме 1 волочили по маршруту 0.5 \rightarrow 0.148 mm с суммарной степенью деформации $\varepsilon = 91.2\%$, а затем отжигали в вакууме при 375°C в течение 1 h.

Механические испытания проволочных образцов на разрыв для определения предела прочности σ_b и относительного удлинения δ проводили на

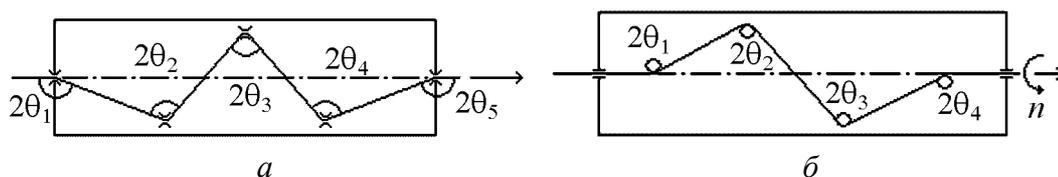


Рис. 1. Схема знакопеременной деформации изгибом при протягивании заготовки в многоугольном канале, образованном: *a* – смещением твердосплавных волок: $\theta_1 = \theta_5 = 87^\circ$, $\theta_2 = \theta_4 = 81^\circ$, $\theta_3 = 72^\circ$; *б* – элементами вращения (роликами) с круговым вращением относительно оси волочения: $\theta_1 = \theta_4 = 79^\circ$, $\theta_2 = \theta_3 = 60^\circ$, $n = 6 \text{ rev/cycle}$

разрывной машине ZM-20. Для каждой схемы обработки испытывали не менее 10 образцов. Погрешность измерений составляла $\sim 1\%$.

Термообработку образцов биметалла на основе сплава НТ50 осуществляли в вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16. Диаметр образцов измеряли рычажным микрометром МР-0-25 с ценой деления 0.002 mm.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Результаты исследований изменения механических свойств металлических материалов (предела прочности, относительного удлинения, величины разброса значений прочности $\sigma_{b_{\max}}/\sigma_{b_{\min}}$) в зависимости от схемы деформирования представлены в таблице.

Из таблицы следует, что значения пределов прочности исходных и циклически деформированных образцов из меди, сплава НТ50 и биметалла на основе НТ50 и меди с дискретным изменением направления деформации изгиба по схеме 1 практически равны друг другу. Исключением являются многоцикловая обработка (изгиб–кручение) по схеме 2 стали 12Х18Н10Т, где деформационное упрочнение составляет $\sim 15\%$, а также знакопеременный пластический изгиб с кручением биметаллической заготовки, приводящий к разупрочнению $\sim 5\%$ предположительно за счет изменения морфологии межкомпонентной связи, обусловленного дроблением структуры в процессе дробного знакопеременного нагружения.

Однако, с другой стороны, предварительная обработка проволочных заготовок знакопеременной деформацией сосредоточенным изгибом (схема 1) и изгибом с кручением (схема 2) в комбинации с монотонной деформацией – традиционным волочением – приводит к повышению прочности всех обрабатываемых материалов (моно- и биметаллов) в пределах $\sim 5\text{--}10\%$ и снижению разброса прочностных свойств по длине образца.

Кроме того, знакопеременная предварительная деформация изгибом с одновременным кручением биметаллической заготовки на основе сплава НТ50 способствует повышению ее пластичности. Относительное удлинение возросло до значений $\delta = 2.14\%$ по сравнению с величиной $\delta = 1.33\%$ для образца без предварительной обработки.

Несколько повышенные прочность ($\Delta\sigma_b = 10 \text{ МПа}$) и хрупкость (величина снижения относительного удлинения $\Delta\delta = 4\%$), стабильность прочностных

Таблица

Влияние схемы знакопеременного деформирования на механические свойства металлических материалов

Образец	Схема предварительной обработки	Последующая обработка	σ_b , МПа	δ , %	$\frac{\sigma_{b \max}}{\sigma_{b \min}}$	$\pm \Delta \sigma_b$, МПа
Медь МОб, Ø 0.5 mm	–	–	223	29	1.04	–
	Схема 1	–	227	14	1.01	+4
Сплав НТ50 без меди, Ø 0.44 mm	–	–	930	2.4	1.06	–
	Схема 1	–	942	2.35	1.03	+12
Сплав НТ50 в меди, Ø 0.4 mm	–	–	663	2.3	1.06	–
	Схема 1	–	680	2.0	1.01	+17
	Схема 2	–	633	2.44	1.03	–30
Сталь 12Х18Н10Т, Ø 0.4 mm	–	–	788	30	1.1	–
	Схема 2	–	901	5	1.01	+113
Медь МОб, Ø 0.4 mm	–	–	215	21	1.1	–
	–	Волочение $\varepsilon = 75\%$	408	0.82	1.05	–
	Схема 1		438	0.75	1.01	+30
Сплав НТ50 в меди, Ø 0.5 mm	–	Волочение $\varepsilon = 91.2\%$	784	1.33	1.04	–
	Схема 1		849	1.63	1.01	+65
	Схема 2		817	2.14	1.03	+33
	–	Волочение $\varepsilon = 91.2\%$, отжиг 375°C, 1 h	565	8	1.02	–
	Схема 1		575	4	1.0	+10

свойств по длине образцов биметалла на основе сплава НТ50 в медной оболочке после предварительной обработки знакопеременным пластическим изгибом и последующего монотонного деформирования традиционным волочением, подвергнутых одночасовому отжигу при 375°C, свидетельствуют об активизации фазовых превращений в β -твердом растворе сплава ниобия с титаном с выделением вторичных фаз и о формировании однородного структурного состояния.

Физико-механические свойства в значительной мере определяются изменением внутренней структуры материала при многоцикловой обработке. Наблюдаемые изменения исследованных свойств можно объяснить формированием при реализации указанных схем знакопеременной деформации мелкодисперсной однородной микро- и субструктур в приповерхностных слоях и объеме проволоочных образцов с регулярным чередованием областей с высокой и низкой плотностью дислокаций при невысоком уровне микроискажений и дефектности материала [2,8].

Знакопеременная деформация подготавливает структуру материала к интенсивной фрагментации при последующей монотонной деформации волочением и, следовательно, приводит к деформационному упрочнению [9]; в случае аналогичной обработки сплава ниобий–титан активизирует процессы выделений вторичных фаз из β -твердого раствора при нагреве деформиру-

ванного сплава за счет повышения плотности границ субзерен и мест зародышеобразования, сокращения диффузионных путей титана.

Выводы

1. Выявлено положительное влияние исследуемых схем предварительного немонотонного деформирования в комбинации с последующим монотонным на прочностные свойства обрабатываемых материалов (~ 5–10%) и их стабильность.

2. Схема знакопеременной деформации изгибом с одновременным кручением заготовки предпочтительнее в плане повышения пластичности биметалла на основе сплава ниобий–титан.

3. Предлагаемые методики при выполнении комплекса углубленных технологических и физических исследований могут быть положены в основу разработки способов структурной обработки сплава ниобий–титан с целью повышения его функциональных сверхпроводящих свойств.

1. В.Л. Колмогоров, КШП № 8, 9 (1981).
2. В.С. Золотаревский, Механические свойства металлов, Металлургия, Москва (1983).
3. В.Т. Троценко, Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении, Наукова думка, Киев (1981).
4. Ю.П. Гуль, Изв. вузов. Черная металлургия № 3, 105 (1990).
5. Ю.В. Зильберг, в сб.: Усовершенствование процессов и оборудования обработки давлением, ДГМА, Краматорск (2001), с. 164–168.
6. Б.А. Мигачев, Ф.М. Журавлев, П.А. Марков, в сб.: Обработка металлов давлением, УПИ, Свердловск (1988), с. 27–33.
7. В.З. Спусканюк, А.Б. Дугадко, И.М. Коваленко, Н.И. Матросов, А.В. Спусканюк, Б.А. Шевченко, ФТВД 13, № 3, 85 (2003).
8. В.П. Северденко, Теория обработки металлов давлением, Высшая школа, Минск (1966).
9. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций, ТЕАН, Донецк (2003).

N.I. Matrosova, V.V. Chishko, E.A. Medvedskaya, L.F. Sennikova, E.A. Pavlovskaya

DEPENDENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF METALLIC MATERIALS ON STRAINING SCHEME

Influence has been investigated of straining with bending and bending combined with torsion under a discrete change of straining direction on mechanical properties of stainless steel, copper and niobium-titanium alloy.

Fig. 1. Scheme of alternating flexural straining for drawing a billet in multiple-angle channel formed by: *a* – displacement of hard-alloy dies: $\theta_1 = \theta_5 = 87^\circ$, $\theta_2 = \theta_4 = 81^\circ$, $\theta_3 = 72^\circ$; *b* – rotating elements (rollers) with the rotation around drawing axis: $\theta_1 = \theta_4 = 79^\circ$, $\theta_2 = \theta_3 = 60^\circ$, $n = 6$ rev/cycle