

УДК 620

СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
ДВУХСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ  
ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Э. С. ГОРКУНОВ, А. М. ПОВОЛОЦКАЯ, Е. А. ТУЕВА,  
С. М. ЗАДВОРКИН  
ФГБУН «ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ УРО РАН»  
Екатеринбург, Россия

Широкое распространение многослойных композиционных материалов (КМ) во многих областях промышленности ставит задачу обеспечения контроля напряженно-деформированного состояния изделий из этих материалов. С целью разработки методики диагностики состояния изделий из композиционных материалов, в том числе состояния их компонент, на стадии изготовления и в процессе эксплуатации было проведено исследование изменений, происходящих в фазовом составе, механических и магнитных свойствах сталей Ст3 и 08Х18Н10Т и полученного сваркой взрывом двухслойного КМ «сталь 08Х18Н10Т – сталь Ст3», после накопительной холодной прокатки с различной степенью деформации.

Листовые заготовки из сталей Ст3 и 08Х18Н10Т, а также изготовленный из них композиционный материал были прокатаны с различной степенью деформации  $\varepsilon_{пр}$ . Для стали Ст3  $\varepsilon_{пр} = 0; 0,11; 0,20; 0,34; 0,49; 0,63$ , для стали 08Х18Н10Т  $\varepsilon_{пр} = 0; 0,19; 0,27; 0,36; 0,45; 0,57$ . Величина  $\varepsilon_{пр}$  для образцов из КМ:  $\varepsilon_{пр} = 0; 0,14; 0,28; 0,40; 0,56; 0,62$ . Длинная ось образцов совпадала с направлением прокатки.

На рис. 1 (а, б) приведены микроструктуры исследованного КМ. Граница раздела двух материалов представляет собой волнообразную поверхность. По мере увеличения степени деформации прокаткой происходит уменьшение волнообразности границы, что приводит к увеличению прочности материала в зоне соединения компонент. Об этом же свидетельствуют результаты измерения твердости обеих компонент КМ, представленные на рис. 1, в. Видно, что с увеличением степени деформации прокаткой твердость материала, являющаяся одним из показателей, характеризующих прочность, растет, причем твердость в районе шва выше, чем на внешних поверхностях образца.

Измерение магнитных характеристик проводили как в замкнутой магнитной цепи по схеме пермеметра, так и с использованием накладных преобразователей в полузамкнутой магнитной цепи.

У образцов из стали Ст3 с увеличением степени деформации прокаткой установлена монотонная зависимость таких магнитных характеристик, как коэрцитивная сила, максимальная магнитная проницаемость, число скачков Баркгаузена, а также тангенциальная составляющая вектора магнитной индукции поля рассеяния образцов. Чувствительность этих маг-

нитных характеристик позволяет использовать их в качестве информативных параметров при оценке изменений деформированного состояния при прокатке в изделиях из низкоуглеродистых сталей.

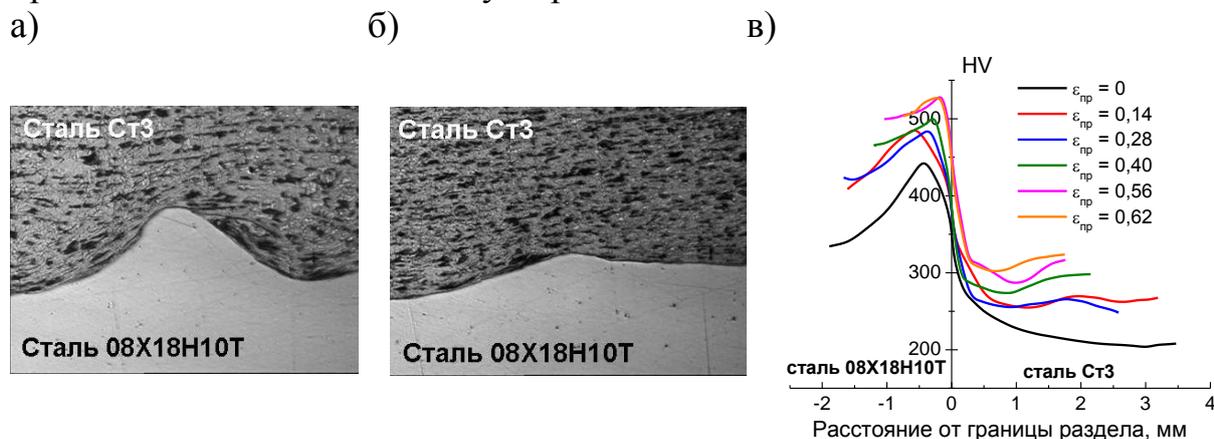


Рис. 1. Структура КМ «сталь 08X18N10Т – сталь Ст3», полученной сваркой взрывом и последующей холодной прокаткой со степенью деформации 0,28 (а) и 0,62 (б). Увеличение  $\times 300$ . Распределение твердости по сечению КМ при различных степенях деформации прокаткой (в)

Для оценки структурных изменений и деформированного состояния изделий из коррозионностойкой стали аустенитного класса 08X18N10Т после холодной прокатки могут быть использованы значения максимальной намагниченности, максимальной магнитной проницаемости, а также среднеквадратичные значения напряжения магнитных шумов Баркгаузена, монотонно изменяющиеся с ростом степени деформации.

Коэрцитивная сила композиционного материала «сталь 08X18N10Т – сталь Ст3» при увеличении  $\epsilon_{pr}$  ведет себя однозначно, что дает возможность использовать ее для оценки степени деформации подобных композиционных материалов.

Показано, что результаты измерений магнитных характеристик композиционного материала с применением накладных магнитных устройств определенных геометрических размеров дают возможность получения информации о состоянии той компоненты слоистого материала, со стороны которой размещен преобразователь.

Полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости  $\mu_{диф}(H)$  композита и его компонент при различных степенях деформации прокаткой представлены на рис. 2. Для образцов из стали Ст3 и композиционного материала в недеформированном состоянии на  $\mu_{диф}(H)$  (рис. 2, а) наблюдается по одному пику, соответствующему ферриту в стали Ст3. Магнитная проницаемость стали 08X18N10Т близка к 1. С увеличением степени деформации прокаткой (рис. 2, б) появляются изменения в зависимостях  $\mu_{диф}(H)$  для всех трех исследованных материалов. Высота пика на полевой зависимости стали Ст3 уменьшается практически в 3 раза. На

кривой  $\mu_{\text{диф}}(H)$  для образцов из стали 08X18H10T, прокатанной до  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,36$ , начинается рост пика, соответствующего формированию при прокатке мартенсита деформации. Пик локализуется в полях 20–25 А/см. Причем на полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости КМ в этих же полях происходит формирование второго пика, что свидетельствует о протекании фазового превращения в КМ в слое из стали 08X18H10T.

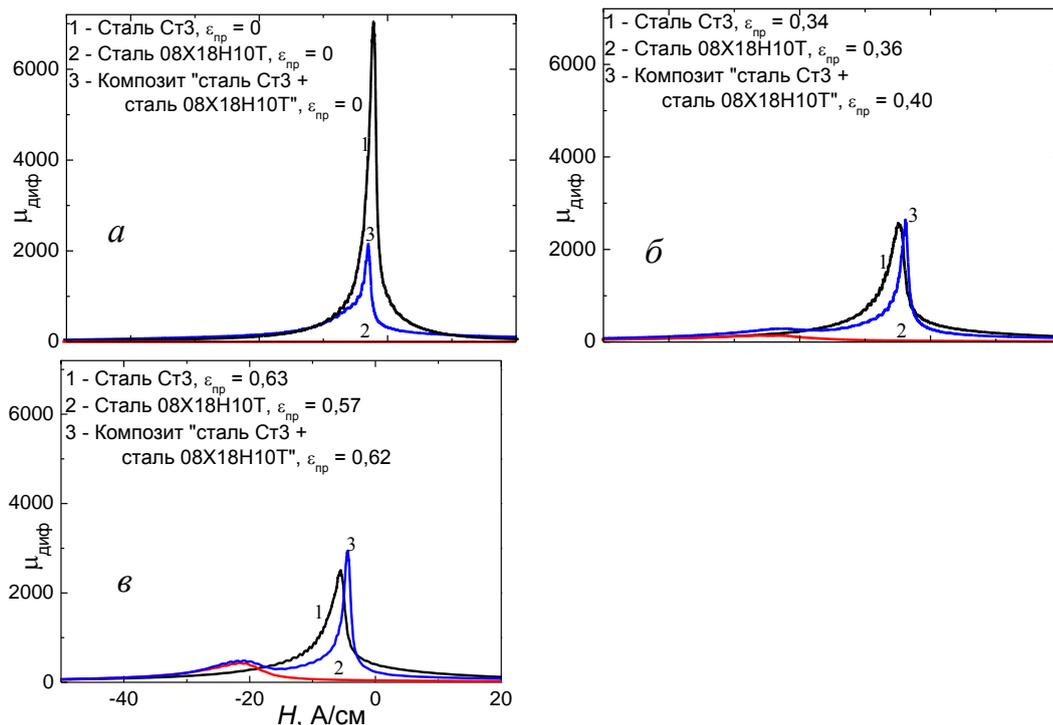


Рис. 2. Полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости КМ «сталь 08X18H10T – сталь Ст3» и его отдельных компонент, построенные для различных степеней деформации прокаткой

На рис. 2, в представлены кривые  $\mu_{\text{диф}}(H)$  для всех трех материалов, прокатанных на максимальные степени деформации. Как видно, на кривой  $\mu_{\text{диф}}(H)$  для композита, прокатанного с  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,62$ , наблюдается два четких пика, соответствующие двум ферромагнитным фазам – ферриту в стали Ст3 и мартенситу в стали 08X18H10T. При увеличении  $\varepsilon_{\text{пр}}$  высота пика, соответствующего стали 08X18H10T, увеличивается с ростом содержания  $\alpha'$ -фазы. Таким образом, высота и положение пиков на полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости композита, соответствующие двум ферромагнитным фазам – ферриту в стали Ст3 и мартенситу деформации в стали 08X18H10T, могут служить параметрами при оценке степени деформации прокаткой как КМ в целом, так и его отдельных компонент.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 11-01-12126-офи-м-2011) и Программы Президиума РАН № 25.