УДК 621.787: 621.7.011: 620.179.16

СВЯЗЬ ДЕФОРМАЦИИ И ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Петренко К.П., кандидат технических наук, доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева,
Россия, г. Кемерово

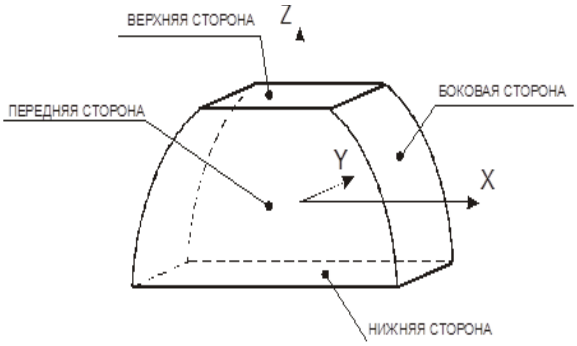
Пластическое течение металла в процессах механической обработки изменяет физическое состояние поверхностного слоя (ПС) и в значительной мере влияет на его структуру и свойства. Механика технологического наследования (ТН), разработанная В.Ю. Блюменштейном [1], учитывает физическую картину накопления деформации и исчерпания запаса пластичности на стадиях жизненного цикла изделий. Каждая операция механической обработки и эксплуатации рассматривается как стадия нагружения и описывается в категориях накопления деформаций и степени исчерпания запаса пластичности Ψ (СИЗП) в очаге пластической деформации (ОД).

Определение деформационных параметров наследуемого состояния ПС на стадиях обработки и эксплуатации связано с известными трудностями; в то же время физический механизм теории ТН позволяет использовать для оценки накопленных свойств поверхностного слоя акустические методы контроля.

Согласно механике ТН, в ОД материальная частица ПС проходит три последовательных участка квазимонотонной деформации, на границах которых изменяется схема напряженного состояния. В итоге датчик прибора АЭ фиксирует итоговое физическое состояние металла без учета истории нагружения.

Поэтому взаимосвязи деформационных параметров механики с акустическими сигналами вначале были исследованы на примере более простых процессов сжатия цилиндрических образцов [2]. Были получены устойчивые зависимости скорости счета сигнала акустической эмиссии от накопленной степени деформации сдвига для условий простого одноэтапного нагружения. Для случая простого двухэтапного нагружения установлено влияние предварительного этапа на накопление скорости счета сигналов АЭ в процессе повторного деформирования.

Ю. Г. Калпин с соавторами [3] исследовали образцы из деформируемого алюминиевого сплава Д16Т размерами 20х20х30 мм (рис. 1). Образцы подвергались холодной пластической деформации в специальном щелевом штампе по различным траекториям с повторяемостью опытов не менее 5.





а) *б)*

Рисунок 1. Образцы после испытания в щелевом штампе:
а) схема; *б)* фото

Влияние траектории деформации при нагружении на акустические параметры исследовали с помощью системы «АСТРОН» [4]. В основу работы системы положен способ регистрации серии отраженных импульсов упругих волн, возбуждаемых в объекте контроля пьезоэлектрическим преобразователем и последующей ее обработки программными средствами. В качестве поверхностной акустической волны (ПАВ) использовали волны Рэлея, так как они наиболее чувствительны к поверхностным дефектам.

Регистрировались следующие параметры: R – время задержки поверхностной акустической волны, нс; $К_{зат}$– коэффициент затухания ПАВ, 1/мкс; величину амплитуды ПАВ. Время задержки определяется длиной пути, проходимого упругими волнами от входного преобразователя до выходного, и скоростью распространения ультразвука. Коэффициент затухания определяется как величина, обратная времени, за которое амплитуда волны уменьшается в e (2,71828) раз.

Исследования проводились на шести сериях образцов, по 4-5 образцов в каждой серии. Серия соответствовала определенной траектории нагружения. Датчик устанавливали поочередно на каждую из шести поверхностей образца (рис. 2) и по максимальному значению коэффициента затухания ПАВ определяли поверхность, полностью исчерпавшую запас пластичности, для расчетов использовали только одно из шести значений.

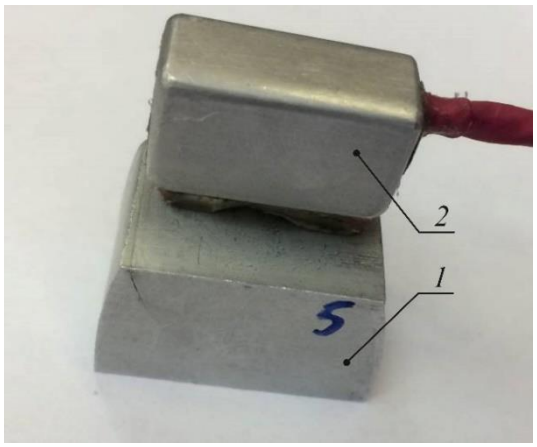


Рисунок 2. Схема процесса измерения: *1* – образец; *2* – датчик

Значения регистрируемых параметров, полученные для одного из образцов, деформированного по первой траектории, приведены в табл. 1. Порядковый номер соответствует стороне образца; величина амплитуды указана относительно оси абсцисс.

Таблица 1

Фрагмент таблицы с промежуточными результатами по регистрируемым параметрам

№ п/п	R, нс	$K_{зат}$, 1/мкс	Амплитуда, дБ	
			Верхняя	Нижняя
1	5082	0,053	153	180
2	5065	0,069	131	186
3	5103	0,08	129	169
4	5078	0,111	133	123
5	5094	0,113	127	125
6	5075	0,128	112	123

Результаты измерений акустических сигналов приведены в табл. 2. В зависимости от траектории нагружения, определяемой поэтапной и суммарной деформацией ε_i, получены значения коэффициента затухания ПАВ $К_{зат}$ – максимального для каждого из образцов и итогового среднего значения по сериям.

Таблица 2

Значения степени деформации и соответствующие значения коэффициента затухания ПАВ по сериям экспериментальных образцов

№ серии	1	2	сум	K	K	K	K	K	$\overline{K}_{зат}$
1	,44		,44	0,376	0,304	0,282	0,309	0,275	0,3092
2	,28	,23	,51	0,444	0,435	0,444	0,437	0,323	0,4166
3	,18	,28	,46	0,316	0,402	0,356	0,201	-	0,31875
4	,28	,14	,42	0,266	0,337	0,278	0,297	-	0,2945
5	,29	,09	,36	0,334	0,257	0,311	0,205	-	0,27675
6	,31	,79	,1	0,504	0,557	0,507	0,438	0,518	0,5048

Коэффициент затухания ПАВ $\overline{K}_{зат}$ изменяется в полном соответствии со значениями накопленной на каждом этапе степенью деформации $\varepsilon_{сум}$ (рис. 3).

Таким образом установлено, что траектория деформации при нагружении оказывает существенное влияние на акустические характеристики ПАВ, в частности на коэффициент затухания рэлеевских волн.

Статистическая обработка результатов показала, что существует зависимость между коэффициентом затухания акустического сигнала и суммарной деформацией сдвига, характеризующей программу нагружения ПС (рис. 4).

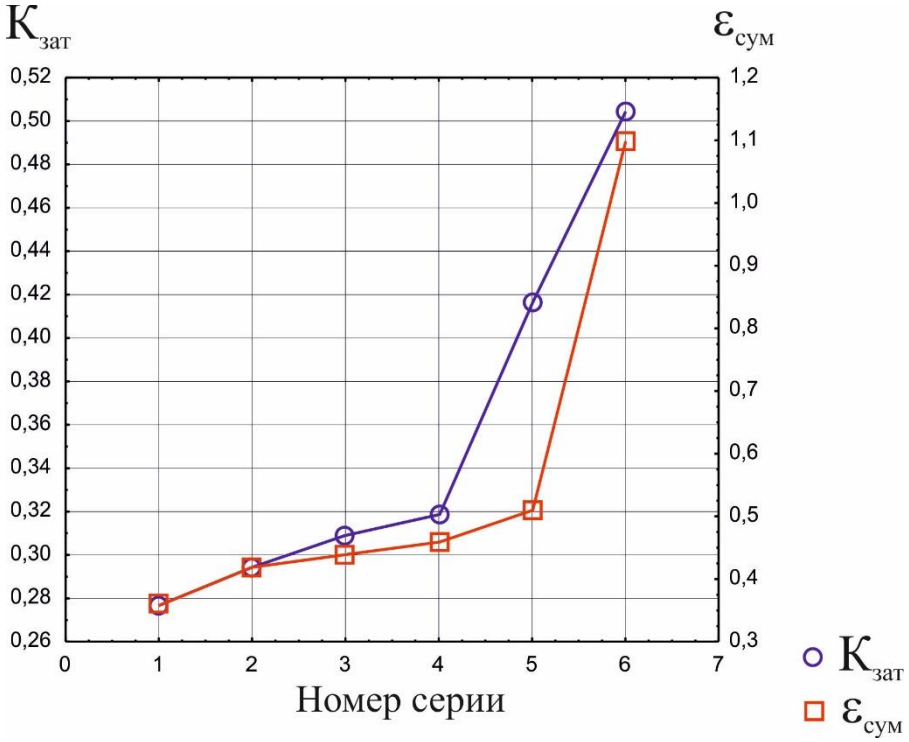


Рисунок 3. Изменение суммарной деформации и коэффициента затухания акустического сигнала (номер серии испытаний приведен в порядке увеличения)

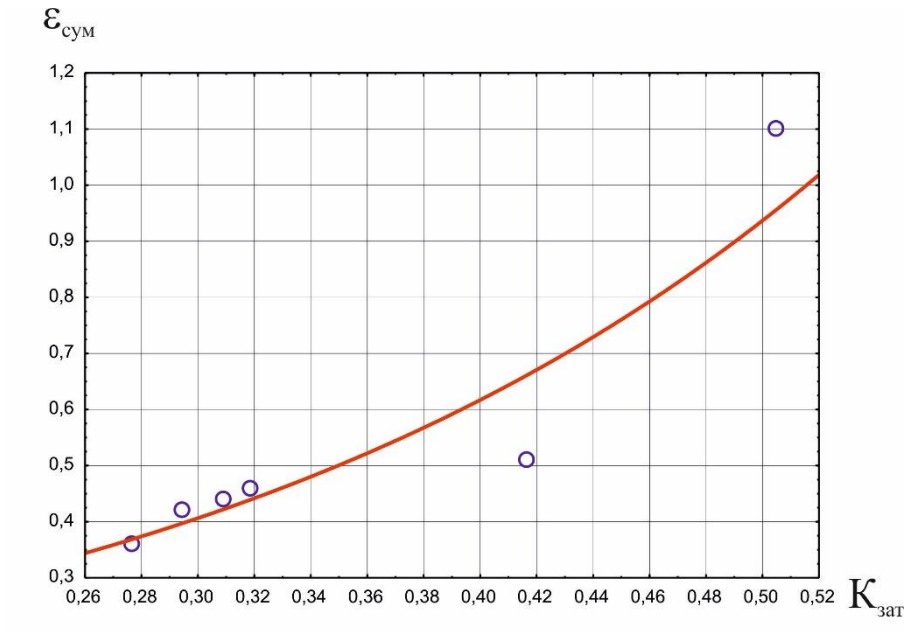


Рисунок 4. Зависимость суммарной деформации от коэффициента затухания

Результаты испытаний образцов из алюминиевого сплава Д16Т, исчерпавших запас пластичности, показывают, что коэффициент затухания отражает изменения в траекториях (программах) нагружения указанных образцов. Таким образом, анализ параметров акустических сигналов позволяет контролировать технологические режимы, используемые на каждой стадии обработки, выявляя накопленную деформацию, что, в свою очередь, дает возможность прогнозировать остаточный ресурс изделия.

1. Акустические методы как отражающие физическую сущность процессов в поверхностном слое являются наиболее адаптированными для определения деформации и исчерпания запаса пластичности.

2. Установлено, что траектория деформации при нагружении, характеризующая ее программу, оказывает существенное влияние на акустические характеристики ПАВ, в частности на коэффициент затухания рэлеевских волн.

3. Исчерпание запаса пластичности поверхностного слоя может осуществляться различными программами нагружения. Задача идентификации нагружения поверхностного слоя по разным программам, особенно при обработке резанием и поверхностным пластическим деформированием, представляет определенные трудности, в том числе и физическими методами контроля.

4. Описанная методика неразрушающего контроля основана на свойствах ультразвуковых волн выявлять множество рассеянных микроповреждений, размеры которых меньше порога чувствительности многих других методов испытаний. При исследовании взаимосвязей параметров механического состояния материала с параметрами ультразвукового сигнала использовался рэлеевский датчик, позволяющий локализовать поврежденность в поверхностном слое. Анализ результатов исследований показывает высокую чувствительность акустического метода к определению изменений параметров микроповрежденности.

5. Показано, что метод акустической структуроскопии позволяет контролировать накопление деформации и поврежденности в поверхностном слое материала в зависимости от программы его нагружения.

6. Результаты исследований могут быть использованы при разработке методики контроля формирования поверхностного слоя при обработке резанием и ППД с целью прогнозирования заданной долговечности.

Список литературы:

1. Блюменштейн В. Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. М.: Машиностроение-1, 2007. 400 с.

2. Блюменштейн В. Ю., Мирошин И. В., Останин О. А. Оценка взаимосвязей феноменологических параметров металла с сигналами акустической эмиссии // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. №2. С.

44-50.

3. Сопротивление деформации и пластичность при обработке металлов давлением / Калпин Ю. Г., Перфилов В. И., Петров П. А. и др. М.: Машиностроение, 2011. 44 с.

4. Современное методическое обеспечение для оценки состояния металла потенциально опасного оборудования. Часть 2. Спектрально-акустический метод контроля / Н. В. Абабков, А. В. Бенедиктов, А. Н. Смирнов и др. // Вестн. КузГТУ. 2010. № 5. С. 101-106.