

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ВОЛНОЙ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВО- МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Киричек Андрей Викторович¹, Баринов Сергей Владимирович², Рыжкова
Мария Николаевна², Яшин Александр Васильевич²

¹ ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

² Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

E-mail: box64@rambler.ru

Введение

Одним из общих показателей, позволяющим оценить качество поверхностного слоя, является твердость материала. Повышение твердости положительно влияет как на эксплуатационные, так и на основные показатели качества поверхностного слоя: остаточные напряжения, структуру, предел текучести и прочности и т.д.

Существует большое количество технологических способов обеспечения требуемой величины твердости. Одной из лидеров в этой области является упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД), так как позволяет формировать поверхностный слой с высокой степенью наклепа и плавным переходом от твердых участков к более вязким. Среди разновидностей ППД стоит выделить способ упрочнения волной деформации, сочетающий в себе достоинства статических и динамических способов. Упрочнение волной деформации – производительный энергоэффективный с высоким КПД и возможностью управления ударным импульсом вариацией схем нагружения. В процессе обработки волной деформации в месте контакта предварительно поджатого к обрабатываемой поверхности инструмента формируется пролонгированный управляемый ударный импульс. В результате создается упрочненный поверхностный слой глубиной 8-10 мм с ультрамелкозернистой структурой и степенью наклепа до 200-250% [1,2]. Кроме того, обработка волной деформации позволяет формировать не только равномерно упрочненный слой, но и области с чередованием твердых и мягких участков.

Для оценки равномерности упрочнения таких участков используется комплексный технологический параметр – коэффициент перекрытия пластических отпечатков K . Данный коэффициент связывает технологические параметры обработки волной деформации (величину подачи, частоту ударов, размер пластических отпечатков) и параметры качества поверхностного слоя, формируемые в процессе упрочнения материала.

Ранее было установлено, что при диапазоне значений коэффициента перекрытия $0,3 \leq K \leq 0,5$ формируется гетерогенно упрочненная поверхность [3], что подтверждается экспериментальными исследованиями. Для сталей 45, 35ХГСА и 40Х, упрочненных на данных режимах ($K = 0,3$ и $K = 0,4$) значения сопротивления контактному выкрашиванию при создании гетерогенной структуры повышаются в 2,5...4 раза.

Более широкое применение волновой деформационной обработки сдерживает наличие лишь экспериментальных исследований на небольшом количестве материалов ввиду высокой трудоемкости исследований. Разработанная ранее аналитическая модель процесса формирования ударного импульса [4, 5], на основании которой создана методика определения рациональных схем нагружения, является сложной для расчета, не позволяет в полной мере описывать необходимые закономерности и содержит в себе ряд ограничений, которые требуется учитывать в условиях современной промышленности. Дальнейшие разработки комплекса математических моделей нашли отражение в работе [6]. Данные модели определяют зависимости между полями напряжений, деформаций и конструкторско-технологическими факторами процесса упрочнения. Однако, модели носят узконаправленный характер и используются для решения задач, связанных с резьбонакатыванием.

Проблема разработки модели, учитывающей физико-механические свойства материала, форму и размеры упрочняемого изделия, позволяющей определить возможности адаптации исследуемого материала к условиям эксплуатации, является актуальной.

Целью проводимых исследований является установление эффективных режимов обработки обеспечивающих наибольшую глубину и степень упрочнения в поверхностном слое.

Материалы и методы исследований, анализ результатов

В качестве упрочняемого материала исследовался алюминий-магний-магний сплав АМг2, относящийся к группе деформируемых нетермоупрочняемых сплавов. Выбор материала обосновывается широким применением в авиакосмической, военной промышленности и его достоинствами, такими как малый вес, средние пластические и прочностные показатели, что делает его пригодным для упрочнения способами ППД.

Моделирование процесса упрочнения волной деформации проводилось в программном модуле ANSYS/LS-DYNA, который позволяет с помощью конечно-элементного анализа с высокой степенью достоверности моделировать быстротечные ударные процессы. Кроме того, существует возможность учитывать физико-механические свойства материала введением необходимых коэффициентов. Так, предварительные экспериментальные исследования на статическое растяжение образцов из АМг2 позволили построить диаграмму зависимости напряжений от деформаций. Полученный график аппроксимировался степенной функцией, коэффициенты которой учитывались при задании свойств материала в ANSYS/LS-DYNA.

Оценка адекватности моделирования проводилась сравнением твердости под единичным отпечатком, полученным от удара шаром в результате эксперимента и моделированием при одинаковых условиях. Статистические расчеты подтвердили уровень значимости полученных данных. Расхождение результатов эксперимента и конечно-элементного моделирования составляет менее 7,9%.

Основываясь на ранее проведенных исследованиях [1], в качестве инструмента для упрочнения выбран шар диаметром 27 мм, энергия удара принята равной 40 Дж. Моделирование осуществлялось для режимов в диапазоне значений коэффициента перекрытия $0,2 \leq K \leq 0,6$. Схема моделируемого процесса упрочнения представлена на рисунке 1а.

В результате расчетов получены поля распределения эквивалентных напряжений по Мизесу и эквивалентных деформаций, представленные на рисунке 1б. Следующим шагом выбирались элементы, в которых необходимо получить значения напряжений. Далее полученные значения по методике [7] переводились в значения твердости. На основании полученных данных в программе Statistica строились карты распределения микротвердости в поверхностном слое, изображенные на рисунке 2.

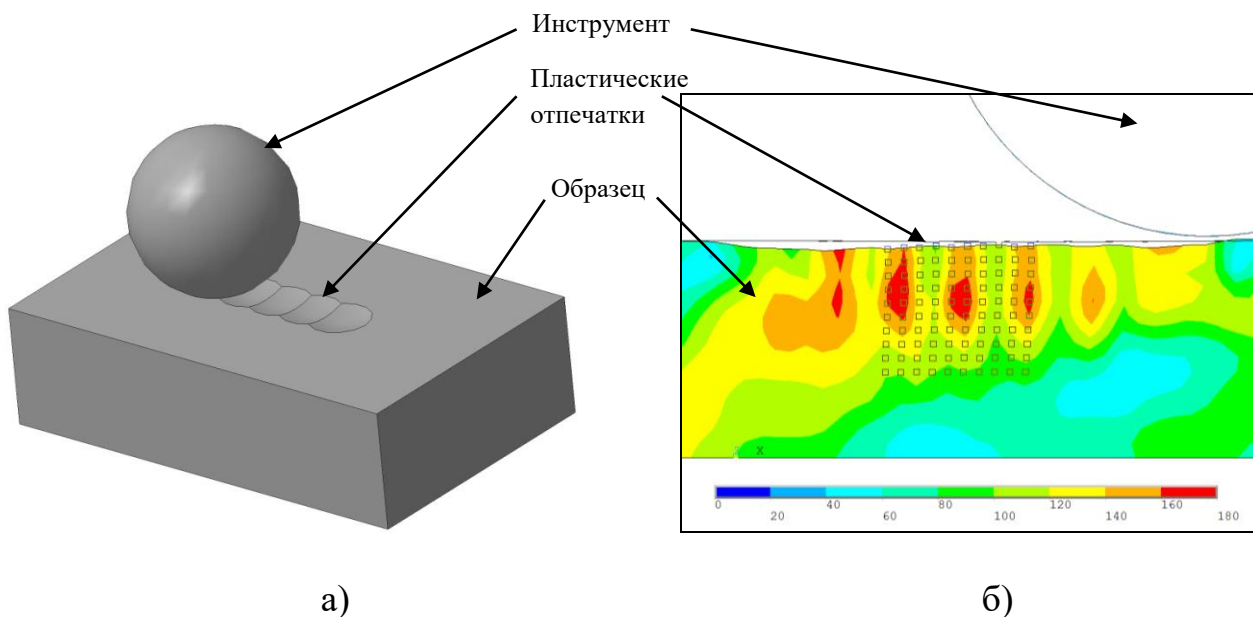


Рисунок 1 – Схема моделируемого процесса упрочнения и результаты моделирования: а) схема процесса упрочнения, б) распределение полей эквивалентных напряжений (в МПа) после моделирования упрочнения с $K = 0,2$

Анализ проведенных исследований показывает, что в результате моделирования процесса обработки волной деформации с $K = 0,2$, $K = 0,4$ и $K = 0,6$ на глубине до 7 мм формируется упрочненный слой. Максимальная степень упрочнения на поверхности при этом достигает 70-75%. Режим с $K = 0,6$ обеспечивает наибольшую глубину и степень упрочнения со значениями ΔH_{μ} более 40% на глубину до 4,5 мм. Полученные данные соответствуют экспериментальным исследованиям.

Использование данных моделей для будущих исследований позволит установить взаимосвязи между технологическими параметрами упрочнения (коэффициент перекрытий, энергия удара и форма инструмента) и параметрами качества поверхностного слоя.

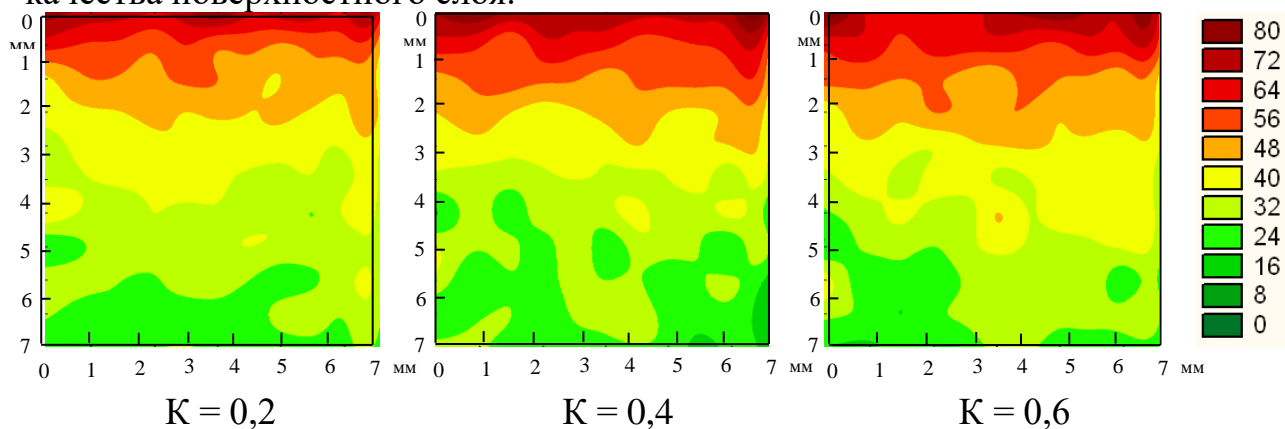


Рисунок 2 – Карта распределения степени упрочнения $\Delta H_{ц}$ (в %) в поверхностном слое после упрочнения волной деформации шаром

Заключение

В результате проведенных исследований:

- установлено, что применение обработки волной деформации для упрочнения деформируемого нетермоупрочняемого сплава АМг2 позволяет создать наклепанный поверхностный слой глубиной до 7 мм;
- разработана конечно-элементная модель процесса обработки волной деформации, позволяющая оценить глубину и степень упрочнения поверхностного слоя;
- установлено, что при $K = 0,6$ формируется упрочненный наибольший упрочненный слой глубиной 4,5 мм со степенью упрочнения более 40%, максимальное значение $\Delta H_{ц}$ при этом достигает 72%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20066 мол_а_вед

Библиографический список

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
2. Механика нагружения поверхности волной деформации. А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. М.: Машиностроение-1, 2005. – 149 с.
3. Kirichek A.V., Barinov S.V. Study of Methods Relating to Increase of Contact Pitting Resistance in 45, 40H, 35HGSA Steel due to Development of Heterogeneous Structure Involving Mechanical Hardening Technique [Text] // Applied Mechanics and Materials, Vol 756, pp. 65-69, May. 2015 (DOI 10.4028 /www.scientific.net/ AMM.756.65).

4. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Афонин А.Н., Волобуев А.В. Информационно-аналитическое обеспечение упрочнения статико-импульсной обработкой / Под ред. А.В. Киричека – М.:Машиностроение-1, 2009. – 170 с.
5. Свидетельство о рег. программы для ЭВМ № 2009610110 Расчет параметров статико-импульсной обработки / Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Жирков А.А., Афонин А.Н., Волобуев А.В. – 2009.
6. Афонин, А.Н. Резьбонакатывание. Библиотека технолога. [Текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. – М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
7. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.