

УДК 001.891.57

Математические модели влияния процесса осаждения прессованием на свойства образцов дюралюминия

Сушков Владислав Сергеевич

vladislav.sushkov@mail.ru

Зотов Василий Владимирович

НИТУ МИСИС, Москва, Россия

Аннотация. Проанализирована зависимость микротвердости от глубины индентирования и строится математическая модель. Использование модели предоставляет возможность принимать обоснованные решения по управлению технологическим процессом. Она позволяет определить, какие значения управляющих воздействий (соотношение компонентов, длительность процесса, температура, интенсивность перемешивания) необходимо установить, чтобы добиться максимального извлечения целевого продукта, повышения производительности или снижения энергозатрат.

Ключевые слова: математическая модель, материал Д16, микротвердость, глубина индентирования

Mathematical models of the effect of the pressing deposition process on the properties of duralumin samples

Sushkov Vladislav Sergeevich

vladislav.sushkov@mail.ru

Zotov Vasiliiy Vladimirovich

NUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract. The article analyzes the dependence of microhardness on the depth of indentation and builds a mathematical model. The use of the model provides an opportunity to make informed decisions on the management of the technological process. It allows to determine what values of control actions (the ratio of components, the duration of the process, the temperature, the intensity of mixing) should be set in order to achieve maximum extraction of the target product, increase in productivity or reduction in energy consumption.

Keywords: mathematical model, material D16, microhardness, indentation depth

Цель исследования. Зависимость микротвердости H от глубины индентирования x и степени относительной нагрузки P , носит сложный характер и может быть описана степенной функцией. В данном случае наиболее адекватное описание экспериментальных данных может быть осуществлено с использованием логарифмической формулы зависимости глубины индентирования и параболической зависимости от степени относительной нагрузки.

Методы. Данная зависимость характеризуется средней величиной погрешности (23 %) и высокой точностью, а именно величиной коэффициента мультипликативной (множественной) детерминации R^2 около 0,81.

В графическом виде зависимость микротвердости H от глубины инdentирования x и степени относительной нагрузки представлена на рис. 1. В исходном состоянии, т. е. без обработки давлением максимум микротвердости H около 3 ГПа фиксируется в поверхностном слое ($x < 50$ мкм). При увеличении глубины инdentирования (около 500–1000 мкм) микротвердость снижается до 1,3–1,5 ГПа. Материал образца претерпевает некоторое разупрочнение после формообразующей механической обработки резанием (токарная обработка). В центральной части образца (на глубине 3000 мкм) образец характеризуется твердостью около 1,3 ГПа. Таким образом, в поверхностном слое после токарной обработки наблюдается повышение микротвердости:

$$Y = 0,00078 + 0,05754 \ln x_1 + 0,00056x_2 + 0,31016 \ln(x_1)^2 + \\ + 0,01669(x_2)^2 + 0,00125 \ln(x_1) x_2. \quad (1)$$

При средней степени деформации наблюдается повышение микротвердости в поверхностном слое. Максимальная микротвердости H около 1,4 ГПа достигается в центральной части образца (на глубине около 3500 мкм) при средней степени относительной нагрузки. Минимальное значение около 1,2 ГПа наблюдается на глубине 40 мкм.

Результаты. При наибольшей степени относительной нагрузки P , происходит появление микро- и макротрещин, которые в итоге привели к разрушению образца. В данном образце от 50 до 1000 мкм, образец характеризуется повышенной твердостью 1,7–1,8 ГПа.

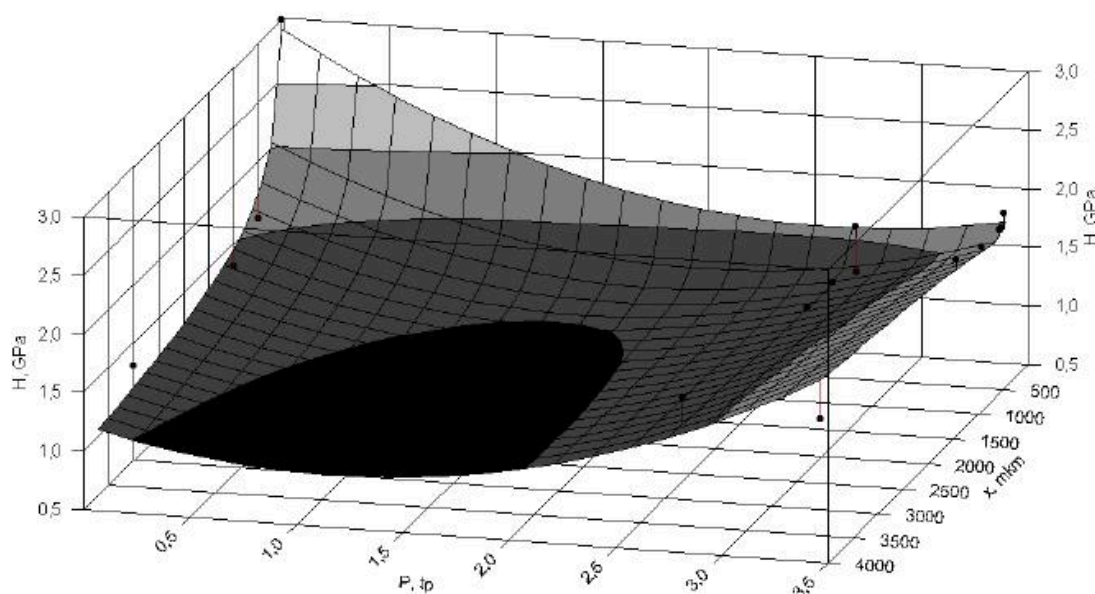


Рис. 1. Зависимость микротвердости H от глубины инdentирования x и степени относительной нагрузки для Д16

Таким образом, достигается максимальное упрочнение Д16 при наибольшей величине заданной в эксперименте деформации. При повышен-

ной степени деформации (более 3,4 тс.) в Д16 наблюдается повышенное трещинообразование, что в итоге ведет к снижению конструкционной прочности и разрушению.

На рис. 2 представлена зависимость относительного сжатия δ от нагрузки P которая выражена степенной функцией

$$Y = 0,80721 + 0,00147 \times x^2 \quad (2)$$

Данный рисунок характеризуется малой погрешностью, а именно стандартной ошибкой равной (6×10^{-2}) 6 % и коэффициентом мультипликативной детерминации $(R^2) = 0,999$.

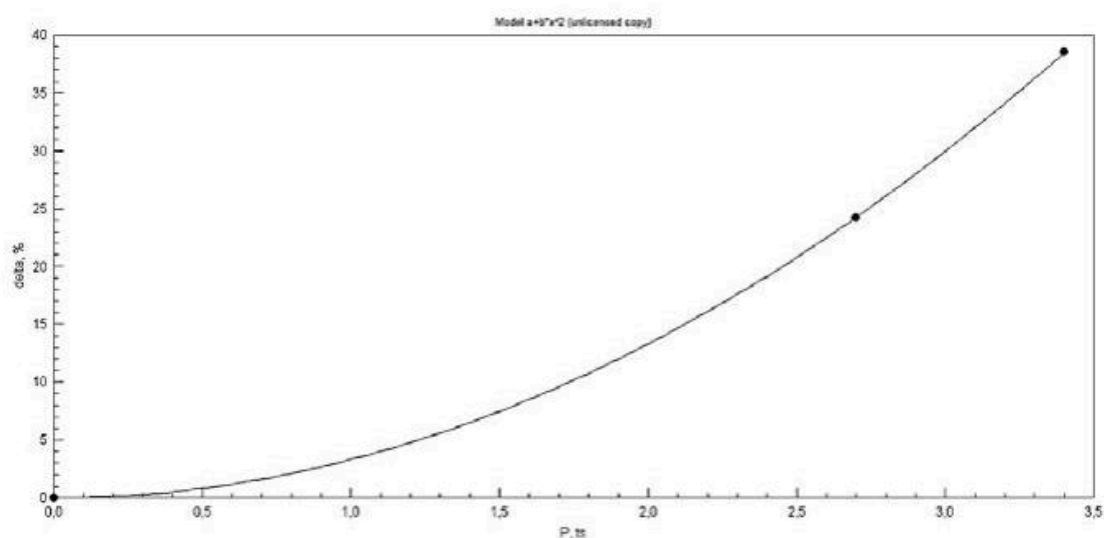


Рис. 2. Зависимость относительного сжатия δ от нагрузки P

На рис. 3 представлена зависимость относительного уширения ψ от нагрузки P , которая выражена степенной функцией

$$Y = 0,80721 + 0,00481 \times x^2. \quad (3)$$

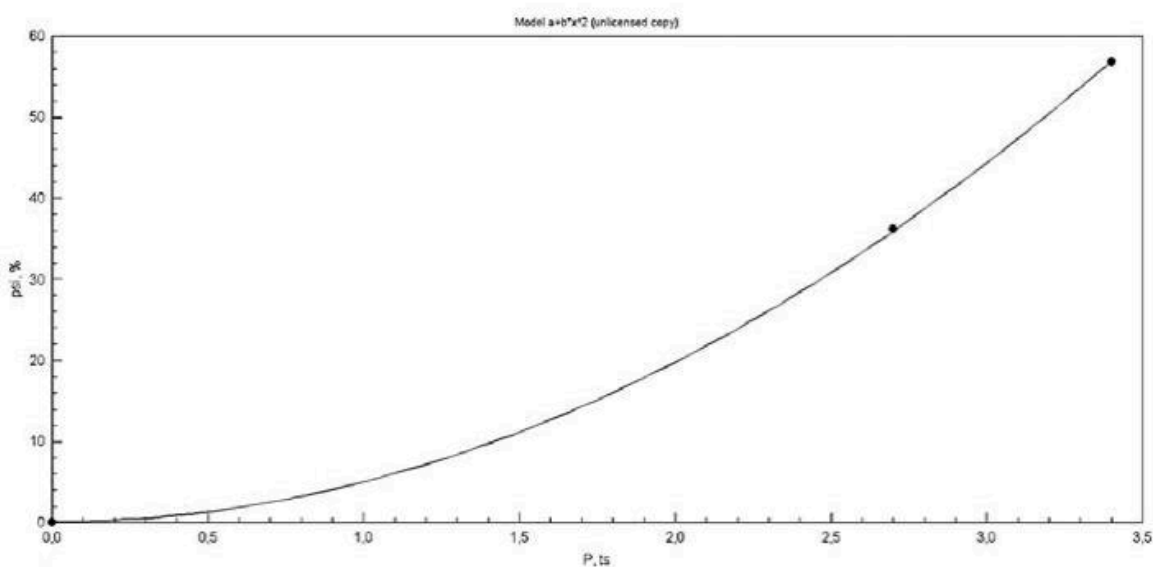


Рис. 3. Зависимость относительного уширения ψ от нагрузки P

Данный рисунок характеризуется малой погрешностью, а именно стандартной ошибкой равной ($0,3 \cdot 10^{-2}$) 3% и коэффициентом мультипликативной детерминации (R^2) = 0,99.

Заключение. Следует отметить, что в ходе исследования было успешно продемонстрировано, что применение гидравлического давления может быть эффективным методом определения микротвердости и идентификации пористости металлического алюминия D16. А также то, как весь этот процесс может повлиять на материал и вызвать дефекты. Подвергая образцы алюминия различным уровням гидравлического давления и анализируя полученные измерения микротвердости и пористости, исследователи смогли сделать значимые выводы о свойствах материала и потенциальном применении алюминия D16. Эти результаты имеют важное значение для области материаловедения и могут помочь в будущих исследованиях по разработке новых или улучшенных алюминиевых сплавов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания образовательным организациям высшего образования, подведомственным Минобрнауки РФ (проект № 11.1943.2017/ПЧ) от 11.01.2017 г.

Список источников

- [1] Лахтин Ю.М. Поглощение энергии при лазерной термообработке алюминиевых сплавов. *Электронная обработка материалов*, 2005, № 3, с. 57–60.
- [2] Семенов Б.А. *Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях*. Саратов, Саратов. гос. техн. ун-т, 2009, 288 с.
- [3] Губотенко В.П., Гуров В.В. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Саратов, ООО Издательство «Научная книга», 2007, 236с.
- [4] Купер Дж., Макгиллем К. *Вероятностные методы анализа сигналов и систем*. Москва, Мир, 1989, 376 с.
- [5] Иванов В.Н. *Математические модели и методы в расчетах на ЭВМ. Лекции для студентов института механизации сельского хозяйства*. Саратов, Саратовский с.-х. ин-т им. Н.И. Вавилова, 1991, 128 с.
- [6] Тейлор Дж. *Введение в теорию ошибок*. Москва, Мир, 1985, 272 с.
- [7] Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. *MATLAB 7: программирование, численные методы*. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2005, 752 с.
- [8] Плохотников К.Э. *Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB: курс лекций*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2009, 496 с.
- [9] Кесарийский А.Г., Кондращенко В.И., Чжан И., Ван Ч., Ли С., Мурадян К.О., Титов С.П., Шутин М.Д. *Программа комплексного отображения статистических параметров механических свойств деформированных конструкционных материалов в системе MATLAB*. Патент № 2019618166 РФ, 2019, бюл. № 2, 11 с.