

УДК 620.17

Исследование микроструктуры и влияния степени деформации и глубины вдавливания на микротвердость алюминиевого материала

Сушков Владислав Сергеевич

vladislav.sushkov@mail.ru

Зотов Василий Владимирович

НИТУ МИСИС, Москва, Россия

Аннотация. Проанализирована зависимость микротвердости от глубины индентирования. Микротвердость материала, которая обычно измеряется на микроскопическом или наноскопическом уровне, представляет собой его твердость в малом масштабе. Его часто оценивают с помощью микротвердомера, который с небольшой точностью делает вмятины на поверхности материала и измеряет глубину образующихся вмятин. В зависимости от типа используемого индентора микротвердость может быть выражена в различных показателях, включая твердость по Виккерсу (HV) или твердость по Кнупу (HK)

Ключевые слова: материал D16, микротвердость, глубина индентирования

Study of the microstructure and the effect of deformation degree and indentation depth on the microhardness of aluminum material

Sushkov Vladislav Sergeevich

vladislav.sushkov@mail.ru

Zotov Vasilii Vladimirovich

NUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract. The article analyzes the dependence of microhardness on the indentation depth. The microhardness of a material, which is typically measured at a microscopic or nanoscopic level, represents its hardness on a small scale. It is often evaluated using a microhardness tester, which makes indentations on the surface of the material with a small degree of accuracy and measures the depth of the resulting indentations. Depending on the type of indenter used, the microhardness can be expressed in various units, including Vickers hardness (HV) or Knoop hardness (HK)

Keywords: material D16, microhardness, indentation depth

Цель исследования. Целью данного исследования является изучение взаимосвязи между пористостью и микротвердостью в металле алюминия D16. В частности, исследование направлено на то, чтобы определить, существует ли корреляция между уровнем пористости и микротвердостью металла, а также выявить любые факторы, которые могут влиять на эту взаимосвязь. Результаты этого исследования могут иметь практическое значение для отраслей, использующих алюминий D16, таких как аэрокосмическая и автомобильная

промышленность, потенциально улучшая качество и долговечность металла. Образцы алюминия D16 испытаны с помощью гидравлического прессы Trommelberg. Результаты анализируются и обсуждаются.

Материалы и методы; результаты. Пористость и микротвердость являются двумя важными свойствами материала, которые часто изучаются вместе, эти два свойства можно связать математически с помощью следующей формулы [8–10]:

$$HV = k (1 - P)n,$$

где HV — микротвердость материала — пористость (выраженная в виде дроби) и константы материала, зависящие от конкретного изучаемого материала.

Это уравнение демонстрирует, что микротвердость материала уменьшается с увеличением его пористости. Во многих случаях пористость и микротвердость материала имеют обратную зависимость. Это означает, что при повышении одного качества другое падает. Это связано с тем, что пористость ослабляет материал, образуя пустые пространства и снижая плотность материала, делая его более подверженным пластической деформации. Следует отметить, что константы k и n будут изменяться в зависимости от конкретного типа исследуемого материала и методики измерения микротвердости

Микроструктура D16 показывает изменение структуры самого материала и изменение зерен.

1. На первом образце видно значительную ровность и пористость. В определенных местах ровная поверхность, а в основном высокая пористость: обычное распределение пор перекликается с линейной пористостью.

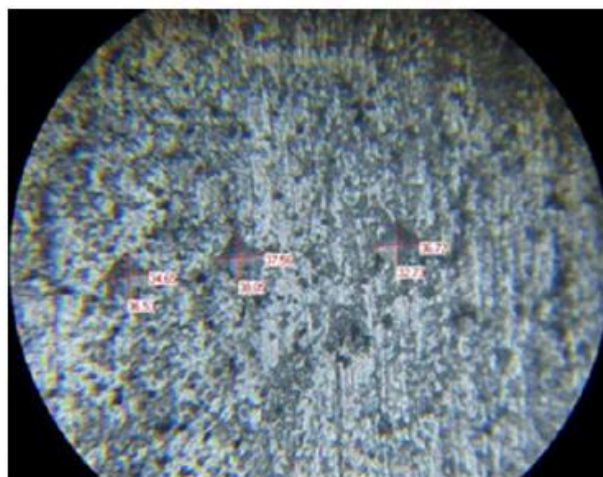


Рис. 1. Исследуемый образец перед обработкой давлением

2. Второй образец, подвергшийся процессу, тем самым уменьшил пористость в центре образца до границы (на границе пористость не исчезла, но по сравнению с первым образцом стала значительно неровной). Но говорить, что пористость совсем исчезла нельзя. Структура второго образца показывает,

что пористость перекрылась и привело после процесса к сглаживанию поверхности и смятию структуры Д16.

3. Третий образец значительно поменял структуру в сравнении с первым и вторым образцами. Структура направлена в определенном направлении, но разрушение (т. е. трещина показывает, что на одной стороне направление где-то становится продолжением или меняет направление структуры перпендикулярно предыдущему направлению) привело на определенных участках в линейность и изменение в центре образца в полукруглую ровность. Границы изменились — спрессовались и неровными стали, но при этом осталась пористость. Границы трещины видно отчетливо по одну сторону она неровная и по другую сторону — противоположное.

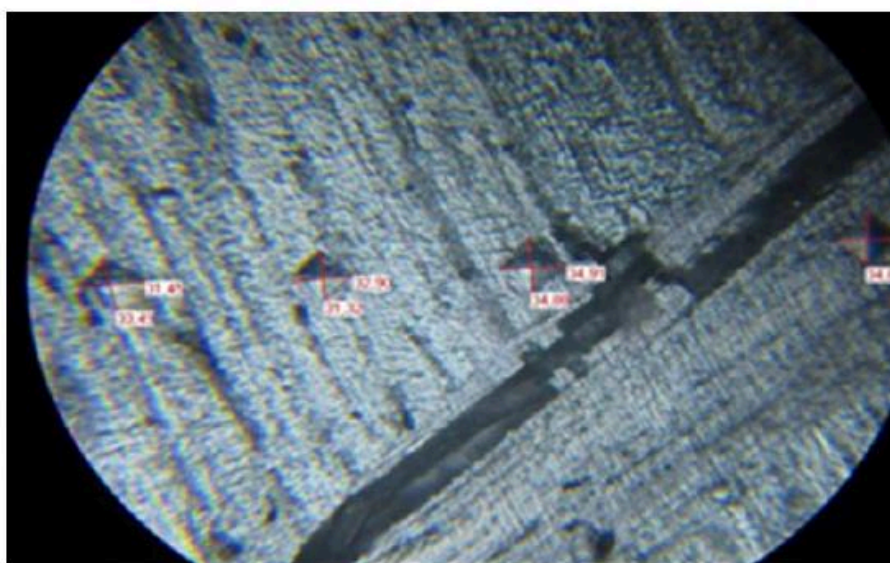


Рис. 2. Исследование после обработки давлением образца из дюралюминия

4. Исследование микротвердости по методу Виккерса и нагружение на образцы было 100 грамм (при 50 граммах неотчетливо видно нагружаемую алмазную пирамиду). Показывает микроструктуру поперечного сечения алюминия D16 на четырех глубинах в нормальном образце [11]. Испытанные образцы и гидравлическое давление показаны в таблице.

Далее рассчитали микротвердость H (ГПа) и отклонение среднего значения микротвердости ΔH . Относительное сжатие рассчитывалось по формуле (δ , %):

$$\delta = (l_0 - l_k) / l_0 \cdot 100\%. \quad (1)$$

Относительное уширение (ψ , %):

$$\psi = (F_k - F_0) / F_0 \cdot 100\%; \quad (2)$$

$$F_{k(o)} = \pi D_{k(o)}^2 / 4. \quad (3)$$

**Обобщенные результаты измерения микротвердости и пластичности
технического дуралюмина Д16**

№	Глубина l, мкм	Микротвер- дость Н, ГПа	Отклонение от среднего значе- ния микротвер- дости ΔН, ГПа	Относи- тельное сжатие δ, %	Относи- тельное ушире- ние ψ, %	Р, тс
VII_1	50	3,0	0,0	0	0	0
	500	1,5	0,8			
	1000	1,3	0,2			
	3000	1,3	0,2			
VII_2	40	1,2	0,5	24,2	36,2	2,7
	60	1,6	0,0			
	500	1,3	0,5			
	1000	1,3	0,5			
	3500	1,6	0,09			
VII_3	50	1,8	0,1	38,5	56,8	~3,4
	100	1,7	0,0			
	150	1,7	0,4			
	500	1,7	0,2			
	1000	1,8	0,2			
	3720	1,6	0,3			

В данной работе обработки металлов прессованием была изучена физическая природа пластической деформации металлов, влияние различных факторов на процесс деформирования, силовое взаимодействие между инструментом и деформируемым металлом, влияние пластической деформации на строение и свойства обрабатываемого материала и др. Обработка металлов прессованием — прикладная наука, основной задачей которой является разработка основ построения оптимальной технологии обработки, обеспечивающей максимальную деформацию в каждой операции при минимальной затрате энергии, получение продукции высокого качества.

Список источников

- [1] Кузнецов В.Г., Гарифуллин Ф.А., Дьяконов Г.С. *Обработка материалов давлением*. Казань, Изд-во КНИТ, 2012, 196 с.
- [2] Schuh В. Механические свойства, микроструктура и термическая стабильность нанокристаллического высокоэнтропийного сплава CoCrFeMnNi после интенсивной пластической деформации. *Acta Materialia*, 2015, т. 96, с. 258–268.
- [3] Никифоров В.М. *Технология металлов и других конструкционных материалов*. Санкт-Петербург, Политех, 2015, 382 с.
- [4] Гнеденков С.В. Формирование и свойства композиционных покрытий на алюминиевых сплавах. *Российский журнал неорганической химии*, 2017, т. 62, с. 1–11.

-
- [5] Руднев В.С. Износостойкие оксидные покрытия на алюминиевом сплаве, образованном в боратных и силикатных водных электролитах методом плазменного электролитического окисления. *Защита металлов и физическая химия поверхностей*, 2017, т. 53, с. 466–474.
 - [6] Балахонцев Н.А., Бодарева А.В., Воронцов А.Л. *Практическая работа в лаборатории обработки давлением: изучение*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Бауман, 2014, 59 с.
 - [7] Ильясов Р.Р. Влияние предварительной гетерогенизации на структуру и твердость криокатаного алюминиевого сплава D16. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, т. 447, № 1, с. 012047.
 - [8] Zhang P. Analysis of the microhardness, mechanical properties and electrical conductivity of 7055 aluminum alloy. *Vacuum*, 2019, vol. 171, art. no. 109005.
 - [9] Гарифуллин Ф.А., Аюпов Р.С., Жилияков В.В. *Материаловедение и технология конструкционных материалов*. Казань, Изд-в КНИТУ, 2013, 248 с.
 - [10] Волокитина И.Е. Влияние криогенного охлаждения после ЕСАР на механические свойства алюминиевого сплава D16. *Металловедение и термическая обработка*, 2019, т. 61, № 3–4, с. 234–238.