

Академик АН УССР А. А. ГАЛКИН, В. И. ЗАЙЦЕВ, Ю. Я. ШИФ

### ВЛИЯНИЕ ГИДРОЭКСТРУЗИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТОГО ЦИНКА

Эффективным средством повышения пластичности металлов и сплавов является деформация при высоком гидростатическом давлении (<sup>1</sup>). Хрупкому разрушению особенно подвержены кристаллы с некубической симметрией кристаллической решетки, например, цинк, висмут, сурьма. Литой цинк хрупок при всех температурах за исключением узкого интервала от +130 до +170° С. При указанных температурах чистый цинк легко поддается обработке давлением, которая становится затруднительной при наличии примесей. Так, сотые доли процента железа охрупчивают металл вследствие образования фазы FeZn<sub>7</sub>. Примеси олова и свинца образуют эвтектику с температурой плавления около +150° С. В силу этого в цинке, подвергаемом обработке давлением, допускается не более 0,001% олова (<sup>2</sup>).

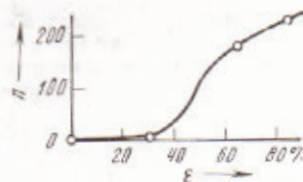


Рис. 1. Изменение числа гибов  $n$  с увеличением степени деформации  $\epsilon$  гидроэкструзией

В настоящей работе выясняется возможность деформирования литого цинка при комнатной температуре, а также изучается структура и механические свойства цинка после такой деформации.

Охрупчивающее действие различных примесей выражается тем ярче, чем крупнее зерно. Уменьшение общей протяженности границ при росте зерна приводит к большой насыщенности границ примесями. Для сравнения проводилась деформация волочением при +(120—130)° С. В настоящем исследовании одной из причин, затруднявших волочение, было крупное зерно в исходном литом цинке. Поэтому в начале процесса при каждом проходе диаметр фильеры уменьшался не более чем на 0,1 мм. При температуре выше +130° С наблюдалось наливание цинка на фильеры, что затрудняло волочение и в девяти случаях из десяти приводило к разрушению образцов. Исследовался цинк марок Ц0, Ц2, Ц3. Влияние деформации на механические свойства проверялось на цинке Ц2. Сумма примесей в этом случае составляла 0,1%, а предел прочности литого крупнозернистого цинка Ц2 3,5 кг/мм<sup>2</sup>.

Результаты эксперимента показывают, что однократное деформирование при комнатной температуре литого цинка гидроэкструзией на 90 и более % не вызывает технологических затруднений. После гидроэкструзии цинка при комнатной температуре резко возрастает его пластичность (рис. 1).

При деформировании большой степени предел прочности при гидроэкструзии повышается в 4,5 раза против трехкратного увеличения при волочении (рис. 2). Важно, что это дополнительное упрочнение сопровождается не падением, а возрастанием пластичности. У цинка, экструдированного на 22%, относительное сужение в 4,5 раза выше, чем у волоченного на такую же степень (рис. 2б), и составляет 75—80%, мало меняясь с дальнейшим увеличением деформации. Образец после гидроэкструзии на 22% разрушается при первом — втором изгибе. Эта характеристика резко улучшается при деформации более 30—40%.



Повышенную прочность и пластичность экструдированного металла можно объяснить двумя факторами.

1. Различный характер напряженного состояния при деформировании. При волочении, наряду с усилиями сжатия, создаются напряжения одноосного растяжения, способствующие образованию и развитию микропор и микротрещин. При гидроэкструзии реализуется напряженное состояние всестороннего неравномерного сжатия, которое способствует залечиванию при деформировании имеющихся пор и препятствует зарождению новых.

2. Формирование дисперсной ячеистой структуры в результате своеобразного характера течения металла при гидроэкструзии.

а. Данные, полученные при рентгенографировании цинка при  $-196^{\circ}\text{C}$ , говорят о появлении в нем ячеистой структуры при гидроэкструзии. В этом опыте цинк из контейнера высокого давления поступал в сосуд с жидким азотом. Рентгенограммы состояли из четких рефлексов, полученных от текстурированных мелких кристаллов, в которых отсутствуют заметные напряжения. Несмотря на высокую дисперсность такая структура обеспечивает повышенную пластичность, так как тело зерна, свободное от дислокаций, сохраняет способность воспринимать дополнительную пластическую деформацию.

На разных металлах рентгенографически нами установлено, что при гидроэкструзии текстура металла совершеннее, чем при волочении, кроме того, текстурированность одинакова по всему сечению образца. Проведенное нами оптическое и электронномикроскопическое изучение микроструктуры по торцевым срезам различных металлов (Fe, Al, Cu, Zn) и сплавов (Fe — С, Fe — Ni — Ti и др.) обнаруживает, что кристаллики изогнуты, закручены, мелки. Подобная структура на молибдене описана в работе (3). Таким образом, при гидроэкструзии наблюдается перемещение кристаллов и фрагментов, близкое к вращательному, вокруг направления деформации. При этом возникает достаточно совершенная текстурированность кристалликов вдоль этого направления.

б. Естественно, что такое сложное перемещение кристаллов при деформации сопровождается сильным измельчением зерна. В цинке, в частности, при гидроэкструзии это приводит к «перемешиванию» примесей, первоначально сконцентрированных на границе зерен (рис. 3), и резкому повышению пластичности.

В самом деле, согласно металлографическим данным, в волоченом металле при любых деформациях сохраняются границы исходного литого зерна (рис. 3б, з). Следовательно, остаются предпосылки для развития трещин в местах скопления примесей, так как концентрация примесей на границах может в десятки раз превышать их общую концентрацию. В местах, где концентрация примесей резко повышена, могут образовываться локальные области перенасыщенного твердого раствора. В этих областях может происходить распад твердого раствора (4) с выделением фаз, охрупчивающих металл. При одинаковых степенях деформирования структура экструдированного цинка дисперснее волоченого. Это способствует повышению прочности.

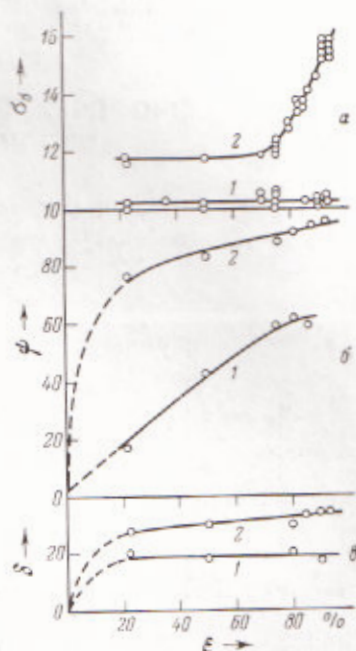


Рис. 2. Механические свойства волоченого и гидроэкструдированного цинка: а — предел прочности  $\sigma_y$ , б — относительное сужение  $\psi$ , в — относительное удлинение  $\delta$ . 1 — Волочение, 2 — гидроэкструзия

Исследование плотности методом гидростатического взвешивания показало, что деформирование при высоком гидростатическом давлении способствует более полному в сравнении с волочением закрытию пор литого цинка. Этим, в частности, возможно, объясняется повышенная прочность и пластичность при относительно небольших деформациях (до 40—50%).

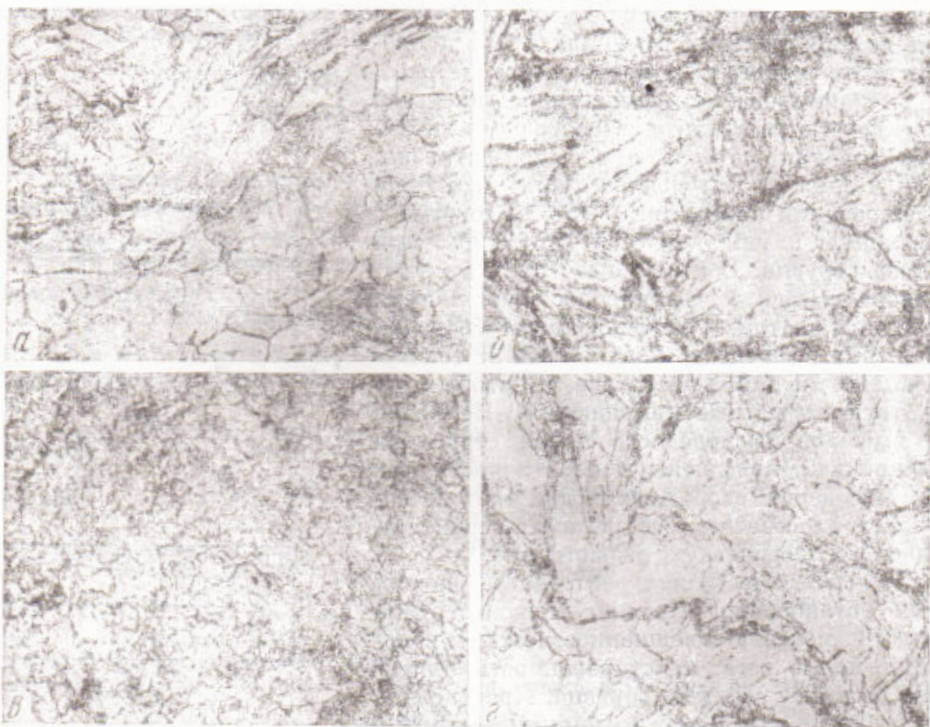


Рис. 3. Микроструктура волоченного (б, г) и гидроэкструдированного (а, в) цинка при деформациях. а, б — 22,5%; в, г — 85,0%

Таким образом, путем использования простой технологической операции гидроэкструзии можно при комнатной температуре за один проход деформировать на любую степень цинк различной чистоты. При этом формируется структура, обеспечивающая резкое возрастание прочности и пластичности.

Донецкий физико-технический институт  
Академии наук УССР

Поступило  
4 I 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. И. Береснев, Е. Д. Мартынов и др., Пластичность и прочность твердых тел при высоких давлениях, «Наука», 1970. <sup>2</sup> Справочник металлста, 3, кв. 1, М., 1959, стр. 362. <sup>3</sup> Г. А. Мочалов, Е. Д. Мартынов и др., Металлургия и металлловедение чистых металлов. Сборн. научн. работ под ред. В. С. Емельянова и А. И. Евстюхина, в. 2, 1967, стр. 155. <sup>4</sup> В. И. Архаров, Тр. Инст. физики металлов Уральск. фил. АН СССР, в. 8, 54 (1946); в. 20, 201 (1958).