

### МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ПО ГРАНИЦАМ РАЗДЕЛА ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

В статье рассмотрены вопросы особенности реологии на контакте дискретных частиц в условиях интенсивных сдвиговых деформаций. Исследовались текстуры деформации и механизмы разрушения деформируемых частиц. Установлено, что разрушение поверхности раздела контактирующих частиц при их прессовании носит вязкий, чашечный характер.

In the article the problems of a feature of a rheology on the contact of discrete particles in conditions of intensive shift deformations are considered. The textures of deformation and mechanism of destroying of distorted particles were researched. It is established, that the destroying of an interface of contacting particles at their molding has ductile cup-shaped character.

Внимание к проблеме пористых композиционных материалов в последнее десятилетие постоянно возрастает. Это связано с тем, что интенсивное развитие науки и техники обуславливает создание новых материалов, обладающих комплексом специальных свойств и способных обеспечить работу конструкций в жестких эксплуатационных условиях. Высокая механическая и жаропрочность, термо- и коррозионная стойкость, малый удельный вес – далеко неполный перечень свойств, которыми обладают современные пористые композиционные материалы. Однако, дороговизна исходного материала (волокна) при производстве пористых композиционных материалов, связанная с высокой энергоемкостью, несовершенством технологии и неудовлетворительной экологичностью процесса его получения, ограничивают области и объемы их применения.

В работах [1, 2] предложен новый эффективный способ получения металлических волокон методом прессования литых гранул. Сущность способа заключается в том, что гранулы смешивают с изолирующим порошком, например, карбидом вольфрама, и смесь подвергают экструзии. Порошок, предотвращая схватывание гранул при прессовании, позволяет деформировать каждую гранулу в отдельности, в результате чего гранулы вытягиваются в виде достаточно изолированных нитей. Однако, одной из проблем при получении волокон из литых гранул является неустойчивость процесса получения разобитых волокон, вызванная их схватыванием по мере выхода из очага деформации. По этой причине получение "распушенных" волокон приобретает большое научное и практическое значение при решении задачи производства дешевых металлических нитей.

Анизотропия свойств волоконных выпрессовок неизбежна (даже учитывая, что их изготовление осуществляется из изотропной среды – гранул) в силу направленной деформации в процессе прессования. К числу главных факторов, определяющих анизотропию свойств таких материалов, относятся: кристаллографическая ориентировка зерен (прежде всего текстура деформации), геометрическая ориентировка гранул, зерен, субзерен (волоконность структуры), ориентированное расположение окисных частиц и дефектов металла.

Целью настоящего исследования явилось изучение реологических особенностей на контакте деформированных частиц в условиях интенсивных сдвиговых деформаций на примере прессования волокон из свинцовых гранул.

Изучение текстуры деформации проводилось на прутках из гранул, выпрессованных без разделительной среды с различными степенями деформации. Съемка выполнялась на дифрактометре ДРОН-2 с помощью гониометрической приставки методом "на отражение".

Результаты исследования показали, что в общем случае процесс текстурообразования при прессовании гранул не отличается от процесса текстурообразования при прессовании слиткового материала. Прямая полюсная фигура, снятая с поверхности образца, отпрессованного с коэффициентом вытяжки  $\mu = 21$  свидетельствует о том, что полученная текстура не отличается от классической текстуры прессования металлов с Г.Ц.К. решеткой. Она характеризуется последовательностью слабых ориентировок  $\{135\} \langle 211 \rangle$ ,  $\{112\} \langle 111 \rangle$ ,  $\{110\} \langle 112 \rangle$ . Плотность их соответственно десять, семь и пять относительных

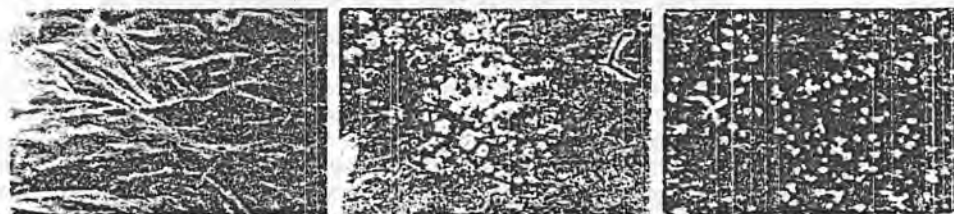
единиц (за относительную единицу при оценке плотности принято отношение интенсивности отражения от определенной плотности в текстурованном образце к интенсивности отражения от эталона). Увеличение степени деформации ( $\mu = 51$ ) выявило рассеивание текстуры, появилась составляющая  $\{001\} \langle 100 \rangle$ . Подобное отклонение при прессовании прутков из литого металла отмечено в работе [3]. Плотность ориентировок для данной выпрессовки составляла:  $\{135\} \langle 211 \rangle$  – семь единиц,  $\{112\} \langle 111 \rangle$  – четыре единицы,  $\{112\} \langle 111 \rangle$  – семь единиц. При  $\mu = 81$  рассеивание уменьшается, текстура приобретает вид, близкий к классической текстуре:  $\{135\} \langle 211 \rangle$  – семь единиц,  $\{112\} \langle 111 \rangle$  – семь единиц,  $\{110\} \langle 112 \rangle$  – три единицы. Компонент  $\{001\} \langle 110 \rangle$  исчезает. Во всех случаях получена аксиальная текстура деформации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с ростом степени деформации при прессовании гранул без разделительной фазы происходит схватывание металла по контактирующим границам и формируется классическая текстура деформации металла с гранецентрированной решеткой. Этот вывод подтверждается кристаллографической закономерностью пластической деформации – сдвига и вызываемые ими сопутствующие процессы происходят ориентированно, следовательно, зависят от направления деформации. Поэтому по мере роста величины сдвиговой деформации изотропная ориентировка зерна в гранулах приобретает сходную ориентировку (текстуру) зерна деформированного компактного материала. Следовательно, при рассмотрении волоконных выпрессовок, полученных без разделительной среды, необходимо учитывать то, что текстура деформации и механическая текстура (волоконное строение) взаимосвязаны и вызваны единой причиной – повышенными и направленными сдвиговыми деформациями при прессовании гранул.

Большое влияние на развитие механической текстуры оказывает сильно окисленная поверхность гранул (рис. 1а). Результаты анализа методом ОЖЕ-спектроскопии показали,

что окисная пленка гранул, охлажденных в воде, имеет толщину  $100 \text{ \AA}$  и включает следующие элементы:

- поверхность окисной пленки – К, Са, С, S (предполагаемый источник появления данных элементов – охлаждающая вода);
- окисная пленка – О, Pb, Sb, Mg (магний, вероятно, попал из футеровки печи).



а – литой гранулы,  $\times 950$       б – деформированной прессованной при  $\mu = 21$ ,  $\times 750$       в – деформированной прессованной при  $\mu = 51$ ,  $\times 700$

Рисунок 1 – Фрактографии поверхности

Анализ поверхности деформированных волокон с различными степенями деформации показал, что при небольших вытяжках даже достаточно пластичная окисная пленка свинца подвергается комкованию (рис. 1б). Увеличение деформации вызывает ее дробление, но "комковатость" сохраняется (рис. 1в). Таким образом, окисные пленки, интергранулярные микро- и субмикронесплошности, ориентированные по направлению сдвиговых деформаций, в большой степени обуславливают анизотропию свойств и, вскрывая ювенильные участки, инициируют схватывание контактирующих волокон. По этой причине создание условий, препятствующих схватыванию металла гранул при их совместной деформации является важной задачей получения разобитых волокон в выпрессовке.

С развитой механической текстурой волоконных выпрессовок связаны некоторые особенности их характера разрушения. Исследование микростроения изломов методом БЭМ

выявило следующие основные виды разрушения выпрессовки: интергранулярное (межчастичное), межзеренное (межкристаллическое), внутризеренное (транскристаллитное).

В изломах чаще всего наблюдаются смешанные виды разрушения. Характер этих разрушений в основном зависит от ориентировки по отношению к направлению прессования: продольные выпрессовки разрушаются от касательных напряжений, поперечные – от нормальных. Выпрессовки, разрушенные под углом 90° к направлению сдвиговых деформаций, разрушаются по границам волокон. Микростроение изломов – малопластичное ямочное (рис. 2а). Включения, которые можно отнести к разрушенным окисным пленкам, встречаются на поверхности продольных изломов очень редко. На поверхности одного излома обнаруживается не более двух-трех таких участков небольших размеров. Для выпрессовки, разрушенной под углом 45° к направлению прессования, наблюдались трещины, уходящие вглубь образца. В то же время на электронных микрофотографиях (рис. 2б) наблюдается рисунок излома, свидетельствующий о пластическом разрушении выпрессовок. Это дает возможность предполагать, что вязкое разрушение волоконных выпрессовок происходит не только по контактной поверхности волокон, но и по их торцевым границам. Подтверждением этого служит характер разрушения поперек выпрессовок, ориентированных по направлению деформации: микрофрактограммы выявили топографию разрушения по границе, вероятно, торца волокна. Причем в этом случае разрушение по контактной поверхности носит вязкий характер – наблюдается большое количество мелких чашек (рис. 2в).



Рисунок 2 – Фрактограммы разрушения волоконных выпрессовок

Таким образом, механизм разрушения волоконных выпрессовок без разделительной фазы, по нашему мнению, заключается в следующем. В виду достаточно малой адгезионной связи металла по границам контактирующих волокон разрушение возникает в первую очередь на этих поверхностях. При достижении начальным надрывом некоторого размера в соседних зонах возникает напряженное состояние, когда становится возможным образование микронадрывов по границам зерен, субзерен и окисных частиц, то есть, на участках, представляющих препятствие для непрерывности деформации. При дальнейшем нагружении микропустоты растут, и путем вытягивания сваренных перемычек сначала образуют мелкие чашки, а затем объединяясь в общую поверхность – излом.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. А.с. №728289 (СССР). Способ получения волокон из алюминиевых сплавов / Жуков М.Ф., Крушенко Г.Г., Шепельский Н.В., Кузнецов А.Н., Оводенко М.Б., Корнилов А.А. и Аношко И.С. – Не подлежит опубликованию в открытой печати.
2. Шепельский Н.В., Пужалов В.В., Свяцкий В.В. Энергосиловые условия прессования волокон // Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 213 – 217.
3. Теория образования текстур в металлах и сплавах / Вишняков Я.Д. и др. – М.: Наука, 1979. – 343 с.

УДК 621. 774

Нахажух О. В. (Винница, ВГСХИ)

#### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ В ПЛАСТИЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ЛИНЕЙНЫХ ИНДЕНТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

Разработана методика расчёта напряженно-деформированного состояния при вдавливании треугольного, прямоугольного, трапецидального линейных инденторов в жесткопластический материал с учетом силы трения. При решении рассмотрен общий случай осесимметричного поля пластического деформирования, использован метод характеристик, совпадающих с линиями скольжения.

Calculation method of stressed-deformed state by pressing of the trigonal, flat, trapezium linear indentors into the hard plastic material taking into account frictional force is developed. By solving the problem the general case of axial-symmetric area of plastic deformation is considered, the method of characteristics coincident with slip line is used.

Знание напряженно-деформированного состояния в зоне пластического контакта при внедрении в металл инструментов различных форм имеет большое значение для оптимизации технологических процессов, улучшения макро- и микроструктуры материала, даёт возможность уже на стадии проектирования определять служебные характеристики изделий.

В таких процессах ОМД, как штамповка, рубка, деформация металла происходит под действием клиновых инструментов, внедряемых в заготовку, расположенную на плоском основании. Процесс накатывания резьбы основан на принципе постепенного вдавливания инструмента в заготовку. При обжатии втулок на клиновые и шлицевые оправки металл в пластическом состоянии наплывает на линейные инденторы указанных форм, повторяя их профиль. При этом, после выпрессовки, возможно получение систем продольных канавок различного служебного назначения. Сечения рабочих инструментов имеют треугольную, прямоугольную, трапецидальную формы, а следовательно, исследование напряженно-деформированного состояния при их вдавливании на различную глубину в металл расширяет наши представления о механике формоизменения в указанных процессах.

Авторами работ [1, 2] решались задачи о внедрении жесткого острого клина и плоского пуансона в пластическое полупространство методом линий скольжения для начальных стадий внедрения без учета контактного трения. Основываясь на решении [1] задачи внедрения клина, получена зависимость [3] глубины внедрения от усилий внедрения для реальных условий ОМД. В этой работе для учета граничных условий на контакте был введен угол  $\delta$ . Как известно, в случае пренебрежения трением в контакте или на свободной от

нагрузки поверхности линии скольжения составляют с границей контакта угол  $\frac{\pi}{4}$ . Смысл

введенного угла трения  $\delta$  сводится к тому, что при учете контактного трения линии

скольжения с границей контакта составляют угол  $\frac{\pi}{4} \pm \delta$ .

Рассмотрим задачу о внедрении твердых (жестких, недеформированных) треугольного (рис. 1), прямоугольного (рис. 2) и трапецидального (рис. 3) инденторов в жесткопластическую среду. При внедрении инденторов силой  $P$  ( $P$  – сила, приходящаяся на единицу длины индентора) среда выдавливается симметрично по обе стороны. Напряженное состояние в пластической области внедрения рассмотрим как плоскую деформацию, то есть деформацией металла в направлении оси  $Z$  пренебрежем.

Напряженное состояние в условиях плоской деформации рассматривается как результат наложения всестороннего растяжения (или сжатия) с напряжением  $\sigma$  на чистый сдвиг с

максимальным касательным напряжением  $\tau_{\max} = k = \frac{\sigma_{\mu}}{\sqrt{3}}$ , где  $\sigma_{\mu}$  – интенсивность напря-