

Механизм возникновения трещин в осаживаемых нагретых пористых образцах

В.В. Синельщиков, С.А. Томилин

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ,
г. Волгодонск*

Аннотация: В статье приведены результаты исследования механизма возникновения трещин в материале осаживаемых нагретых цилиндрических пористых порошковых заготовок. Классифицирован тип трещин и отмечена роль границ между «частицами» порошка на поверхности пористой заготовки, как концентраторов напряжений, способствующих зарождению трещин при её деформации.

Ключевые слова: динамическое горячее прессование, температура нагрева, порошковая заготовка, пора, трещина, температура спекания, пластичность.

Изделия из порошковых материалов применяются в различных областях машиностроения и, в зависимости от нагрузок, условий эксплуатации, требований безопасности, они должны обладать определёнными свойствами. Например, детали машиностроительных конструкций, работающих в условиях воздействия механических нагрузок, изготавливаются из конструкционных материалов, которые характеризуются износостойкостью, конструкционной прочностью, надёжностью, долговечностью.

В работе [1] представлены результаты исследований по замене традиционных материалов деталей машиностроения на материалы из металлических порошков. Кроме этого, авторы [2 – 4] приводят сведения о возможности изготовления деталей методами порошковой металлургии.

Одним из достоинств технологии изготовления деталей сложной формы методом динамического горячего прессования (ДГП) или горячей штамповки является формование деталей, например, таких, как сателлиты дифференциала, из порошковых заготовок простой цилиндрической формы. Исследования процесса осадки спеченных заготовок и определение поперечных размеров порошковых заготовок, позволяющих проводить их бездефектное деформирование в процесс ДГП, приведены соответственно в [5,6].

Автор [7] отмечает наличие пониженной пластичности, как материалов, полученных ДГП, так и порошковых заготовок в нагретом состоянии. Пониженная пластичность порошковых заготовок может быть причиной возникновения трещин в процессе их деформации в нагретом состоянии и, как следствие, уменьшения прочностных и пластических характеристик материала после ДГП.

Представляет интерес исследование механизма возникновения трещин в осаживаемых нагретых пористых образцах. Результаты таких работ позволят сформулировать рекомендации по учёту некоторых особенностей возникновения трещин и наметить мероприятия, повышающие пластичность нагретых пористых заготовок, используемых при ДГП.

Исследование механизма возникновения трещин проводили на предварительно спечённых пористых порошковых образцах из металлического порошка ПЖ4С2 в состоянии поставки. Исходная пористость образцов 30%, температура нагрева перед осадкой - 1100°C, температура спекания - 1100°C, время спекания - 20 минут. Спекание и нагрев перед осадкой проводили в среде диссоциированного аммиака [8].

Осадку образцов проводили с использованием копра, что позволило регулировать удельную работу деформирования за счёт высоты подъёма ударника. Это способствовало точному определению состояния поверхности образца после его осадки.

После спекания цилиндрических пористых порошковых образцов понятие «частица» порошка носит условный характер. Тело образца представляет собой металлическую основу, содержащую открытые и закрытые поры. Цилиндрическая поверхность образца (рис. 1, а) формируется из поверхностей «частиц» порошка, разделённых канавками, которые являются концентраторами напряжений. Установлено, что трещины

образуются по местам этих канавок (границ) между «частицами» порошка за счёт разрыва металлических связей между ними (рис. 1, б).

На рис.1, в показан микрошлиф с раскрытой трещиной, образование которой происходило за счёт разрушения металлических связей как между «частицами» порошка, так и, не исключено, самих «частиц». Согласно классификации, предложенной в [9], такие трещины можно отнести к трещинам отрыва.

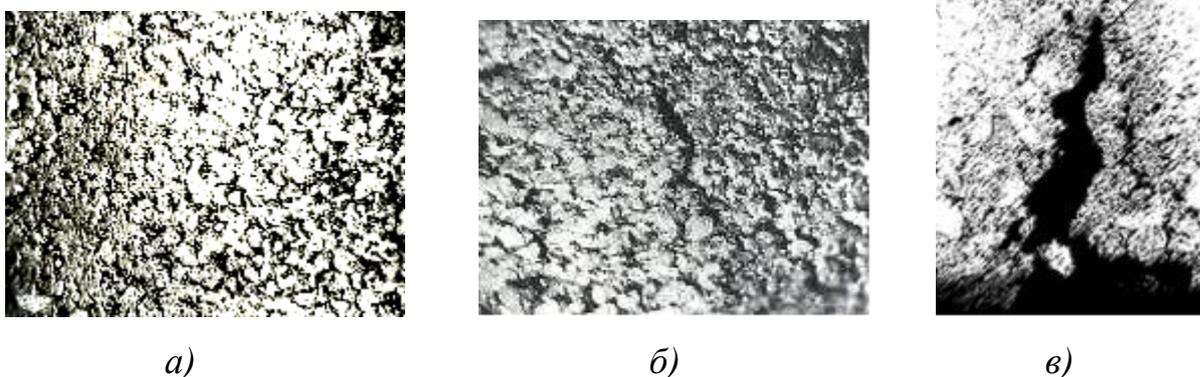


Рис. 1. Состояние периферийной поверхности порошкового образца до (а) и после (б) осадки (х30) и вид раскрытой трещины (в) (х30), шлиф нетравленный

Изменение состояния порошкового материала после осадки образцов наблюдали на нетравленных микрошлифах периферийной области порошковых образцов до осадки (рис. 2, а) и после (рис. 2, б). Образцы до осадки имели одинаковую исходную пористость. Видно явное отличие структурного состояния пористых материалов, заключающегося в наличии бóльшего количества пор в материале образца после осадки (рис. 2, б).

Авторы [10] предложили оценивать «катастрофическое» разрушение материала уровнем накопления повреждаемости («разрыхления») металла в процессе пластической деформации. «Разрыхление» вносит изменение в состояние материала в виде увеличения его объёма.

Явление «разрыхления» пористого порошкового материала особенно ярко проявляется при осадке нагретых цилиндрических образцов. Но в этом

случае необходимо отметить происходящее в его центральной части уплотнение, и понятие «разрыхление» в большей мере пригодно для оценки состояния периферийных участков материала, примыкающих к бочкообразной поверхности образца (рис. 2, б).

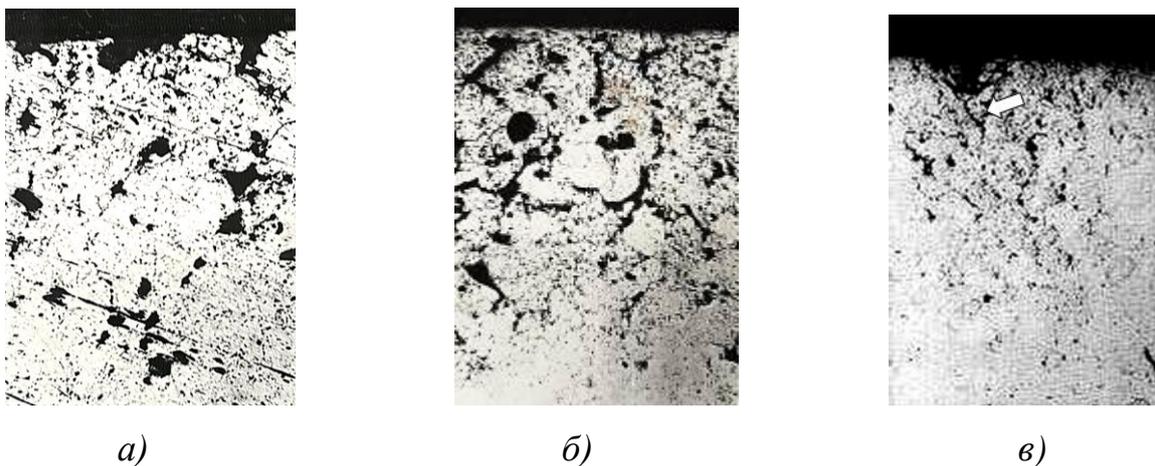


Рис.2. Состояние материала периферийной области порошкового образца до (а) и после (б) осадки (х60) и начало зарождения трещины (в) (х10), шлифы нетравленные

Дальнейшая деформация порошкового образца приводит к локализации «разрыхлений» на бочкообразной поверхности в местах по границам «частиц» порошка (рис 1, б). На этом этапе локальные напряжения достигают своего максимального значения, что и приводит к зарождению трещин. Субмикро- и микроразрушения по границам бывших частиц порошка достигают своего максимального значения, превращаясь в макроразрушения в виде трещин (на рис 2, в начало зарождения трещины отмечено стрелкой).

Следует отметить лавинообразный характер развития трещины в пористом материале, что подтверждается наличием угла α между её стенками у основания (рис. 1, в).

Таким образом, наряду с технологическими факторами ДГП (температура деформации и спекания, исходная пористость,

гранулометрический состав порошковых заготовок) состояние поверхности порошковой заготовки оказывает существенное влияние на пластические свойства нагретого пористого порошкового материала.

Литература

1. Колоколов Е.И., Пирожков Р.В., Томилин С.А. Применимость порошковой стали типа 110Г13П для изготовления деталей уплотнения энергетической арматуры высоких параметров // В мире научных открытий. 2014. № 8 (56). С. 119-130.
 2. Hung-Kuk Oh, Jeong – Keun Lee. A study of the extrusion of sintered porous metal // J. Mech. Technol. 1985. Vol. 11, No 1. pp.53-69.
 3. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Die-Filling and Densification in Hot Extrusion Forging of Porous Preforms // Powder Metallurgy Int. 1977. Vol. 9, No. 4. pp.160-163.
 4. Синельщиков В.В., Томилин С.А. Влияние некоторых технологических факторов динамического горячего прессования на структуру и свойства материала сателлитов дифференциала // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7450.
 5. Гончаренко Г.Е., Филиппович Е.И., Дорошкевич Е.А. Исследование процесса осадки спеченных заготовок // Металлургия, материаловедение и термическая обработка металлов / под ред. Л.С. Ляховича, О.В. Романа. Минск, 1976. Вып. 8. С. 151-155.
 6. Синельщиков В.В. Определение поперечных размеров деформируемых заготовок // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/3505.
 7. Дорофеев Ю.Г. К вопросу о качестве изделий, изготавливаемых методом ДГП. // Горячее прессование: сб. докладов научн.-техн. семинара. – Киев: Наукова думка, 1983. Вып. 2. С.3-9.
-

8. Жердицкий Н.Т., Шестаков Ю.А., Попов Б.И. Способы нагрева заготовок перед ДГП // Динамическое горячее прессование. Т. 316, вып. 2. Новочеркасск, 1976. С. 24 – 28.

9. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Неравномерность деформации при ковке. М.: Машиностроение, 1969. 181 с.

10. Новожилов В.В., Кадашевич Ю.И., Рыбакина О.Г. Разрыхление и критерий разрушения в условиях ползучести // Докл. АН СССР. Т. 270, 1983. С. 831–835.

References

1. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. V mire nauchnykh otkrytiy. 2014. № 8 (56). pp. 119-130

2. Hung-Kuk Oh, Jeong – Keun Lee. J. Mech. Technol., 1985, Vol. 11, No 1, pp.53-69.

3. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Powder Metallurgy Int, 1977, Vol. 9, No. 4, pp.160-163.

4. Sinelshchikov V.V., Tomilin S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7450.

5. Goncharenko G.E., Filippovich E.I., Doroshkevich E.A. Metallurgiya, materialovedenie i termicheskaya obrabotka metallov, Minsk, 1976. Vol. 8. pp. 151-155.

6. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/3505.

7. Dorofeev Yu.G. Goryachee pressovaniya, Kiev, 1983, Vol. 2, pp. 3-9.

8. Zherditsky N.T., Shestakov Yu.A., Popov B.I. Dinamicheskoe goryachee pressovanie, 1976, Т. 316, Vol. 2, pp. 24-28.

9. Okhrimenko Ya.M., Tyurin V.A. Neravnomernost' deformacii pri kovke [Uneven deformation during forging], Moskva, 1969, 181 p.

10. Novozhilov V.V., Kadashevich Yu.I., Rybakina O.G. Doklady AN SSSR, 1983, Т. 270, pp. 831-835.