

УДК 621.01

Матюхин А. Ю.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ В МЕТАЛЛЕ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В литературе широко представлены теоретические и экспериментальные исследования напряженного состояния металла при разных схемах деформированного состояния. Каждому фактору формы очага деформации l_d/h_{cp} соответствует определенная схема формоизменения внутри очага деформации. Каждой схеме пластического формоизменения соответствует определенный характер распределения и величина контактных напряжений [1].

На рис. 1 показаны экспериментальные данные распределения контактных нормальных p_z и касательных τ_x напряжений при асимметричном нагружении (прокатка).

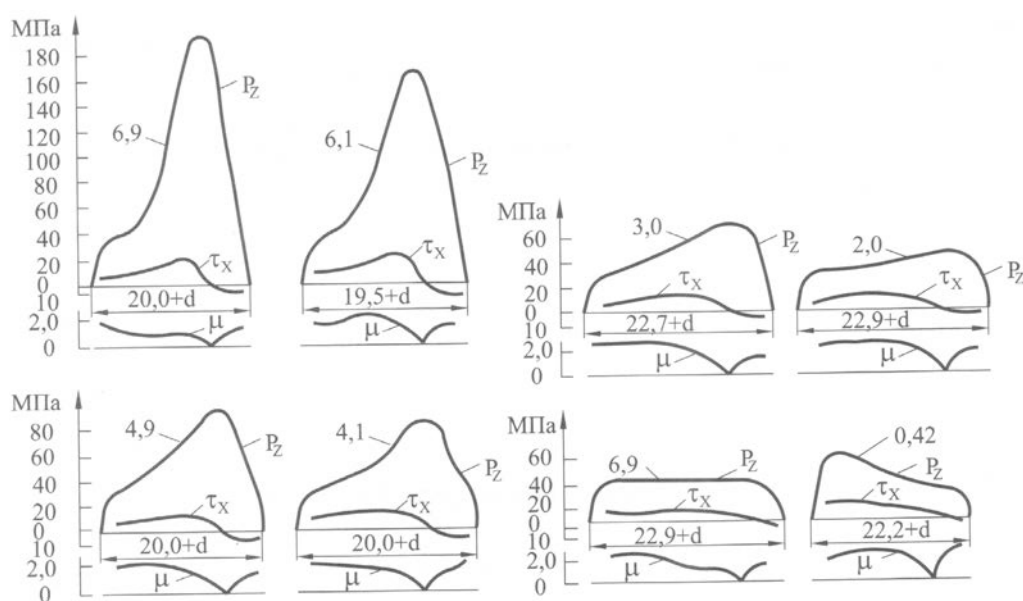


Рис. 1. Распределение контактных напряжений по данным А.П. Чекмарева и П. Л. Клименко

Максимуму нормальных напряжений соответствует примерно нулевое значение касательных. Кроме того, величина и характер распределения зависят от фактора формы l_d/h_{cp} (где l_d – длина очага деформации; h_{cp} – средняя высота). Фактор формы является характеристикой «объемности» очага деформации, тех или иных схем напряженно-деформированного состояния, которые реализуются во всей зоне пластического течения. При разных параметрах l_d/h_{cp} (6,9; 6,1; 4,9; 4,1; 3,0; 2,0; 0,9; 0,42) величина максимального значения p_z уменьшается от 190 МПа до 40...60 МПа. Меняется характер распределения напряжений, при больших значениях l_d/h_{cp} пик эпюры находится вблизи плоскости выхода металла из очага деформации, при малых – распределение напряжений либо равномерное по длине, либо пик эпюры смещается к плоскости входа металла в очаг деформации. Через фактор формы наглядно показано изменение силового контактного и объемного формоизменения пластической среды.

При симметричном нагружении металла на шероховатых бойках разным факторам формы соответствует определенное объемное течение металла. Наблюдается крайняя неравномерность пластической деформации в зоне пластического течения. Проявлением этой неравномерности является «ковочный крест», который расположен в диагональных зонах геометрического очага деформации при симметричном нагружении. Это подтверждается экспе-

риментальными исследованиями деформированного состояния металла при осадке [2]. Осадка цилиндрических заготовок производилась между плоскими шероховатыми бойками при одинаковом относительном обжатии ($\varepsilon = 30\%$) (рис. 2).

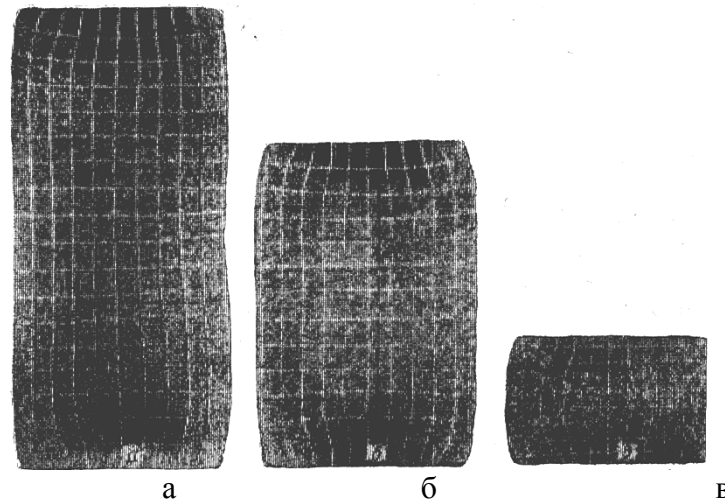


Рис. 2. Деформация координатных сеток при осадке цилиндрических заготовок с разными исходными размерами:

а – $H_0/D_0=3,5$; б – $H_0/D_0=2,5$; в – $H_0/D_0=1,0$

Как видно, форма боковой поверхности и различный характер распределения деформаций в объеме поковок зависит от отношения H_0/D_0 (фактора формы). Кривые распределения обжатия по высоте осажённой заготовки для различных поверхностей при $r = \text{const}$ приведены на рис. 3.

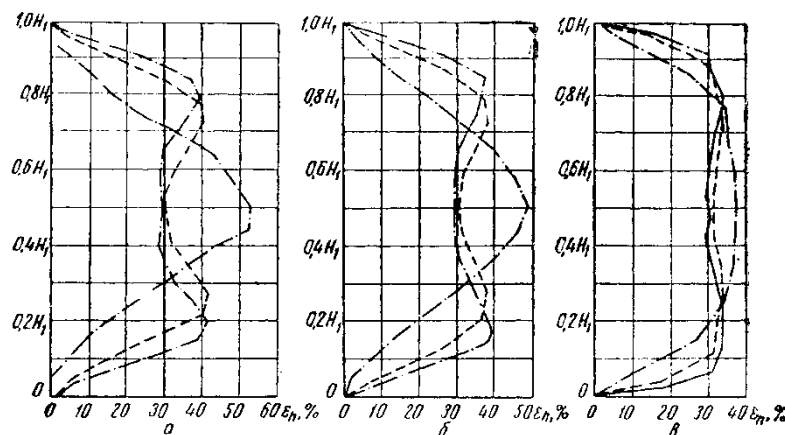


Рис. 3. Распределение высотной деформации осажённых заготовок:

а – по оси, $H_0/D_0=3,5$; б – $1/3R$ от оси, $H_0/D_0=2,5$; в – $2/3R$ от оси, $H_0/D_0=1,0$

Распределение высотной деформации имеет неравномерный характер. При разном факторе формы меняется величина и характер распределения высотной деформации. Кроме того, имеет место неравномерность деформации в различных сечениях осаживаемых образцов. Таким образом, учесть влияния различных размерных характеристик осаживаемых образцов, возможно лишь при анализе напряженно-деформированного состояния во всем объеме очага деформирования.

В работе [3] введен в рассмотрение параметр неравномерности деформации $Q = \frac{V_{\sigma}}{V}$, где V_{σ} – объем металла в «бочке» осаживаемого образца, V – объем металла в заго-

товке. Чем больше Q , тем больше неравномерность пластической деформации по высоте сечения. На рис. 4 показано, что с увеличением высоты заготовки показатель неравномерности достигает максимального значения $Q = 23.7\%$ при $d/h = 0.5$ и с увеличением обжатия (ростом d/h) резко уменьшается, принимает минимальное значение $Q = 6.1\%$ при $d/h = 0.5 \geq 12$.

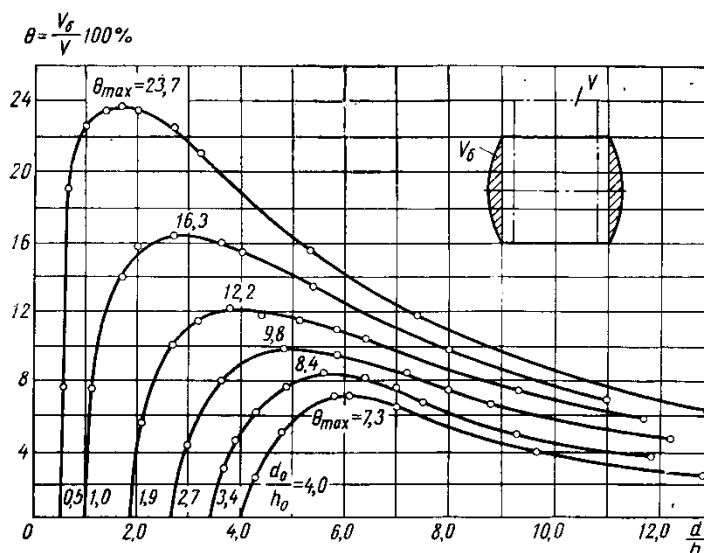


Рис. 4. Диаграмма зависимости относительного объема бочкообразования от фактора формы

Такая же тенденция имеет место и для заготовок средней и малой высоты. При этом пик максимальных значений смещается в сторону увеличения фактора формы d/h . Подробный анализ работы [3] показывает, что при осадке высоких заготовок неравномерность пластической деформации на контакте минимальна (зона прилипания), а по высоте максимальна во всех сечениях.

Целью работы является изучение факторов, влияющими на величину и характер неоднородности деформации.

По мнению автора [4] неравномерное течение металла является результатом большей или меньшей сосредоточенности пластической деформации в различных местах его объема. Автор классифицирует разделение неравномерности на физическую и геометрическую. Последняя представляет собой только изменение формы объекта деформации относительно той формы, которая была бы при деформации в идеализированных условиях при отсутствии искусственной неравномерности. Физическая неравномерность деформации охватывает наибольшее число проявлений неравномерности и относится ко всем ее разновидностям, имеющим физическое происхождение. Эта разновидность неравномерности деформации, в свою очередь, может быть подразделена на следующие:

- неравномерность, вызванная граничными условиями деформации (наличие или отсутствие на поверхности металла контакта с инструментом и характер контактного трения: сухое, жидкостное, покоя, движения, изотропное, анизотропное и т. д.);

- неравномерность, вызванная кинетическими условиями деформации (наличие зависимости перемещений частиц металла от их координат; возможность превышения скорости деформации над скоростью ее распространения; превышение скорости упрочнения металла над скоростью разупрочнения при горячей деформации);

- неравномерность, вызванная термическими условиями деформации, приводящими к неравномерности температурных полей (непрогрев металла; преимущественное охлаждение его поверхностных слоев; сосредоточенный тепловой эффект в местах локализации пла-

стической деформации). Структурная неравномерность относится и к физической неравномерности деформации, но выделена в отдельную разновидность. Наложение и суммирование различных разновидностей неравномерности создает общую картину неравномерного течения металла, названную технологической неравномерностью.

Предварительно проведенный эксперимент по изучению распределения неравномерности деформации при осадке толстостенных кольцевых изделий между шероховатыми плитами, при одно- и двухзонном течении металла показал, что наиболее существенное влияние на распределение контактных нормальных и касательных напряжений по длине очага деформации оказывает коэффициент внутреннего и наружного подпора. Так, при увеличении внутреннего подпора и отсутствии наружного, течение металла происходит во внешнюю сторону, тем самым смещая положения нейтрального радиуса в сторону меньшего диаметра, при этом, нормальные напряжения переходят от симметричной к асимметричной эпюре. Та же самая тенденция для наружного подпора.

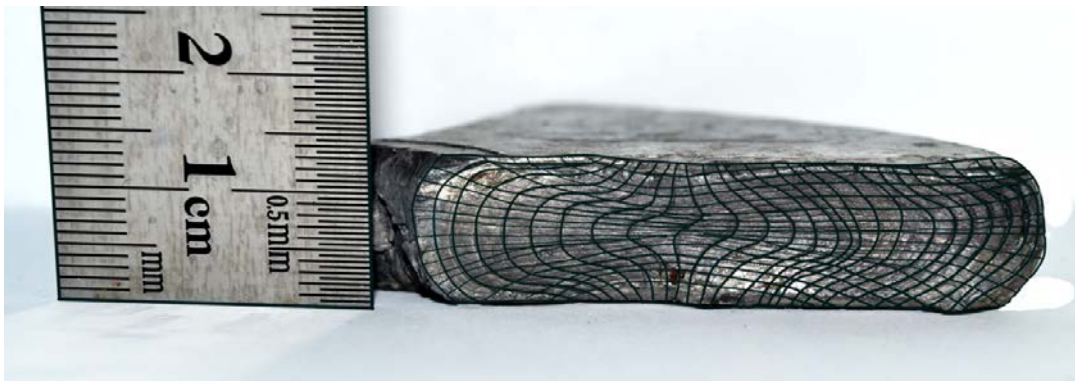


Рис. 5. Свободная осадка между двумя плоскими шероховатыми плитами

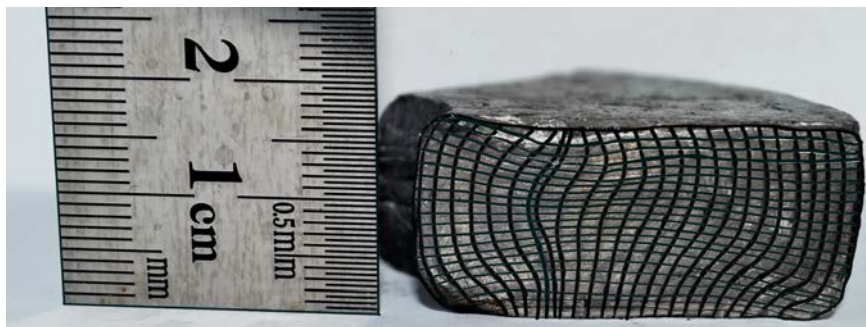


Рис. 6. Осадка с частичным ограничением течения металла по внутренней боковой поверхности

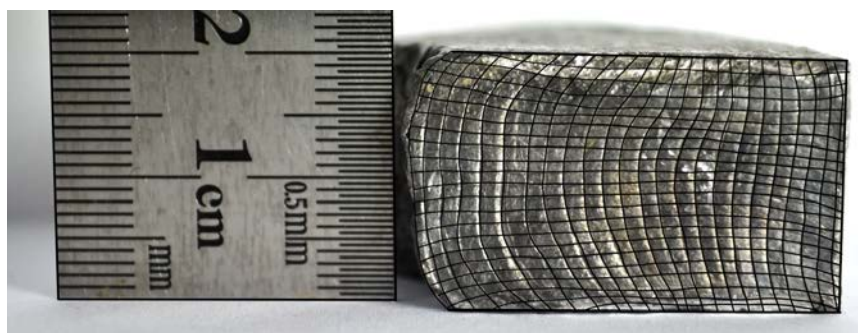


Рис. 7. Осадка с полным ограничением течения металла по внутренней боковой поверхности



Рис. 8. Осадка с полным ограничением течения металла по наружной боковой поверхности

При свободной осадке между двумя шероховатыми плитами (рис. 5) имеет место двухзонный очаг деформации, когда стенки полого цилиндрического изделия растекаются относительно радиуса нейтрального сечения, тем самым увеличивая наружный диаметр и уменьшая внутренний.

При частичном ограничении течения со стороны внутренней боковой поверхности (рис. 6) происходит смещение нейтрального радиуса в сторону меньшего диаметра.

При полном ограничении течения металла со стороны внутренней или наружной боковой поверхности (рис. 7, 8) происходит смещение нейтрального радиуса на внутренний и наружный диаметр соответственно.

В итоге следует отметить, что изменение величины бокового подпора приводит к смещению нейтрального сечения и изменению неравномерности деформации во всем объеме металла.

ВЫВОДЫ

1. Все процессы пластического формоизменения сопровождаются неоднородным напряженно-деформированным состоянием.

2. Основными факторами, влияющими на величину и характер неоднородности деформации, являются: коэффициент трения, геометрический фактор (соотношение длины и высоты очага деформации), а также кинематика течения металла.

3. Полноценный учет неоднородности деформации возможен лишь при решении плоской или пространственной замкнутой задачи теории пластичности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко П. Л. *Контактные напряжения при прокатке* / П. Л. Клименко, В. Н. Данченко. – Днепропетровск : «ПОРОГИ», 2007. – 285 с.
2. *Теория обработки металлов давлением* / И. Я. Тарновский [и др.]. – М. : «Металлургиздат», 1963. – 672 с.
3. Унксов Е. П. *Пластическая деформация при ковке и штамповке* / Е. П. Унксов. – М. : Машигиз, 1939.
4. Охрименко Я. М. *Неравномерность деформации при ковке* / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин. – М. : «Машиностроение», 1969. – 183 с.

REFERENCES

1. Klimenko P. L. *Kontaktnye naprjazhenija pri prokatke* / P. L. Klimenko, V. N. Danchenko. – Dnepropetrovsk : «POROGI», 2007. – 285 s.
2. *Teorija obrabotki metallov davleniem* / I. Ja. Tarnovskij [i dr.]. – M. : «Metallurgizdat», 1963. – 672 s.
3. Unksov E. P. *Plasticheskaja deformacija pri kovke i shtampovke* / E. P. Unksov. – M. : Mashgiz, 1939.
4. Ohrimenko Ja. M. *Neravnomernost' deformacii pri kovke* / Ja. M. Ohrimenko, V. A. Tjurin. – M. : «Mashinostroenie», 1969. – 183 s.

Матюхин А. Ю. – ст. преп. ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: mco2005@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.09.2015 г.