

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

*Ирина Деревенко*

*Винницкий национальный аграрный университет  
Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: ira.derevenko@mail.ru*

*Irina Derevenko*

*Vimnitsia National Agrarian University  
Str. Sun, 3, Vimnitsa, Ukraine. E-mail: ira.derevenko@mail.ru*

**Аннотация.** Одним из направлений совершенствования технологических процессов обработки металлов давлением является повышение скоростей деформирования. При динамических нагрузках, действующих на элементы конструкций, интенсивность нагрузок настолько велика, что в элементах конструкций могут возникнуть пластические деформации. В динамических процессах пластического формоизменения, помимо усиления инерционного сопротивления деформируемого тела, проявляется, так называемый скоростной эффект, определяющий зависимость напряжённого состояния от скоростей деформаций. Скоростные эффекты учитываются при моделировании процессов обработки металлов давлением, в основе которых лежит ударное действие на обрабатываемую заготовку. Экспериментально установлено, что увеличение скорости деформации при нормальной температуре увеличивает предел текучести, как при сжатии, так и при растяжении пластичных материалов. Приведены экспериментальные результаты влияния скорости удара на предел текучести. Из результатов следует, что с ростом скорости удара динамический предел текучести возрастает. Следовательно, в расчётах необходимо учитывать изменение механических характеристик, вызванное динамическими нагрузками. Построены кривые течения стали в условиях квазистатического и динамического нагружения. Определено влияние скорости деформации на вид кривой течения. Оценено влияние скоростного эффекта при расчётах удельной потенциальной энергии. Построены зависимости удельной потенциальной энергии деформаций в статике и динамике в зависимости от интенсивности деформаций. Показано, что удельная потенциальная энергия при динамическом нагружении оказывается большей в сравнении с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения. Полученные результаты дают возможность уточнить энергосиловые параметры процессов холодной объёмной штамповки.

**Ключевые слова:** кривая течения, скоростной эффект, потенциальная энергия, статика, динамика.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Процессы холодной объёмной штамповки могут протекать как в статических, так и в динамических условиях нагружения. Одним из направлений совершенствования технологических процессов обработки металлов давлением является повышение скоростей деформирования [1].

Исследование поведения конструкций при динамических нагружениях является одной из актуальных проблем, связанных с широким классом практических задач [2-4]. Эти задачи связаны с интенсивными динамическими нагрузками, действующими на элементы конструкций [5-9], когда интенсивность нагрузок настолько велика, что в элементах конструкций могут возникнуть пластические деформации.

В динамических процессах пластического формоизменения, помимо усиления инерционного сопротивления деформируемого тела, проявляется, так называемый скоростной эффект, определяющий зависимость напряжённого состояния от скоростей деформаций [10-13]. Скоростные эффекты учитываются при моделировании процессов обработки металлов давлением, в основе которых лежит ударное действие на обрабатываемую заготовку [14, 15]. А также при проведении экспертиз, связанных с определением энергии деформации при столкновении автомобилей [16, 17].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Экспериментально установлено, что увеличение скорости деформации при нормальной температуре увеличивает предел текучести, как при сжатии, так и при растяжении пластичных материалов [5]. В работе [10] приведены данные о влиянии скорости деформации на стандартные механические характеристики материалов: предел прочности и предел пропорциональности. В этой же работе приведены экспериментальные результаты влияния скорости удара на предел текучести. Из результатов следует, что с ростом скорости удара до 10 м/с динамический предел текучести возрастает в два раза (сталь 45) и три раза (армо-железо). В расчётах необходимо учитывать изменение механических характеристик, вызванное динамическими нагрузками [16].

В технической литературе [18, 19] приводятся результаты экспериментальных данных, указывающих на влияние скорости деформирования на характеристики кривых течения ряда Fe и Al материалов.

На рис. 1 и рис. 2 показаны результаты испытаний материалов, проведенные авторами работы [18].

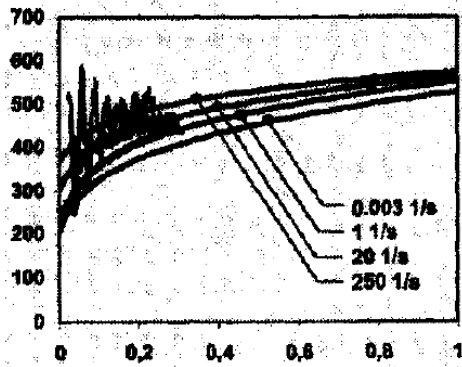


Рис. 1. Аппроксимация и экстраполяция на базе модели Swift кривых течения при растяжении с различной скоростью стальных листов ZstE180BH [18]

Fig. 1. Approximation and extrapolation based on the model Swift flow curves in tension c different speed steel sheets ZstE180BH [18]

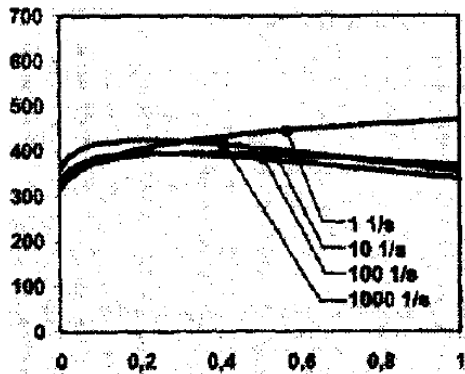


Рис. 2. Кривые течения зависящие от скорости деформирования сплава AlMgSil – F31 [18]

Fig. 2. Flow curves depending on the alloy strain rate AlMgSil – F31 [18]

Кривые получены с применением адиабатической модели к результатам на растяжение и сжатие. Как следует из рисунков, у сталей удельная работа пластического деформирования с возрастанием скорости деформации растет, у алюминиевого сплава – снижается, либо не изменяется.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – определение влияния скорости деформации на вид кривой течения  $\sigma_u = f(\epsilon_u)$ .

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Если аппроксимировать кривую течения уравнением Людвига:

$$\sigma_u = A \epsilon_u^n \quad (1)$$

То можно записать модель скоростного упрочнения в виде, предложенном в работе [16]:

$$A_v = A \left[ 1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\epsilon}_u)}{135} \right]. \quad (2)$$

Коэффициент  $n$  в формуле (1) изменяется в зависимости от скорости деформирования следуя соотношению:

$$n_v = n \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\epsilon}_u)]. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3)  $A_v$  – коэффициент аппроксимации кривой течения, учитывающий влияние скорости деформирования;  $\dot{\epsilon}_u$  – скорость интенсивности деформаций,  $n_v$  – показатель степени, учитывающий влияние скорости деформирования.  $A$  и  $n$  в формуле (1) – коэффициенты аппроксимации кривой течения, построенной без учета скорости деформирования (квазистатическая деформация).

Построим кривую течения стали в условиях квазистатического и динамического нагружения, например, при скорости  $250 \frac{1}{сек}$ .

С этой целью в формулы (2) и (3) подставим коэффициенты аппроксимации кривой течения  $A$  и  $n$  стали 20, а скорость интенсивности деформаций  $\dot{\epsilon}_u$  примем равной  $\dot{\epsilon}_u = \frac{1}{250} \frac{1}{сек}$ . В результате получим для стали 20 коэффициенты  $A = 673$  МПа,  $n = 0,15$  в условиях квазистатического нагружения [20] и  $A_v = 731$  МПа,  $n_v = 0,0742$  в условиях динамического нагружения. На рис. 3 показана кривая течения построенная по аппроксимации (1) для условий статического – (кривая 1) и динамического – (кривая 2) нагружений.

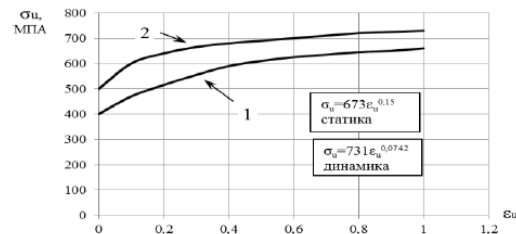


Рис. 3. Кривая течения стали 20, построенная в условиях квазистатического и динамического нагружений

Fig. 3. Current curve of 20 steel, built in a quasi-static and dynamic loading

Как следует из рис. 3 в условиях динамического нагружения кривая 2 расположена выше кривой 1, следовательно, удельная потенциальная энергия оказывается больше по сравнению с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения. Рассчитаем работу деформации (удельную потенциальную энергию) для случаев статического и динамического нагружений. Для этого проинтегрируем соотношение (1):

$$W_{\text{уд}} = \int \sigma_u d\epsilon_u = \int A \epsilon_u^n d\epsilon_u = A \frac{\epsilon_u^{n+1}}{n+1}. \quad (4)$$

Подставив в (4) коэффициенты  $A$ ,  $n$  и  $A_d$ ,  $n_d$ , получим значения удельной потенциальной энергии в статических и динамических условиях нагружения для различных условий интенсивности деформаций  $\epsilon_u$ .

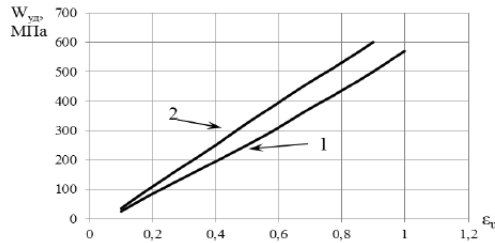


Рис. 4. Удельная потенциальная энергия деформаций в статике и динамике в зависимости от интенсивности деформаций

Fig. 4. The specific strain energy in static and dynamic, depending on the intensity of the strain

На рис. 4 показаны полученные зависимости  $W_{уд}(\epsilon_u)$ . Как следует из рисунка эти зависимости линейны, расхождение значений  $W_{уд}$ , полученных в результате расчёта по принятой модели статическим и динамическим нагружениям для различных уровней деформаций, находятся в пределах 15-30%.

#### ВЫВОДЫ

1. Оценено влияние скоростного эффекта при расчётах удельной потенциальной энергии.

2. Показано, что при скорости интенсивности деформаций  $\dot{\epsilon}_u = \frac{1}{250} \frac{1}{сек}$  удельная потенциальная энергия при динамическом нагружении оказывается большей на 15–30% в сравнении с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения.

Полученные результаты дают возможность уточнить энергосиловые параметры процессов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майборода В.П., Кравчук А.С., Холин Н.Н. 1986. Скоростное деформирование конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 264.
2. Когут Н., Гумениук Р. 2014. Влияние технологических факторов на изменения трещиностойкости термонапряженной арматуры // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – Vol.16. No.4. 189-192.
3. Луцык И., Федорейко В. 2014. Определение рациональных скоростных режимов электропривода комплекса активного вентилирования на основе адаптивных нейронечётких систем // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – Vol.16. No.4. 193-199.
4. Орленко Л.П. 1969. Поведение материалов при импульсных нагрузках / Л.П. Орленко. – М.: Машиностроение, 167.
5. Огородников В.А. 1989. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В.А. Огородников. – Киев, УМК ВО, 152. (Украина).
6. Радзивончик В.Ф. 1967. Скоростное пластическое деформирование металлов. Харьков: Харьковск. гос. ун-т, 211. (Украина).
7. Чурбаев Р.В., Добромислов А.В., Колмогоров В.Л. 1990. Влияние скорости деформации на пластичность металлов / Физика металлов и металловедение. № 6. 178-183.
8. Логинов Д.Н. 1999. Влияние скорости деформирования на пластичность конструкционных материалов с учетом схемы напряженного состояния. Т.1: Тез. докл. междунар. научн. конф. – М: «ЛАТМЭС», 328-329.
9. Гуляев Ю.А. 1984. Влияние скорости деформирования на процесс прямого холодного выдавливания осесимметричных деталей // Кузнечно-штамповочное производство. № 70. 12-14.
10. Титов В.А., Шамарин Ю.Е., Долматов А.И. 2010. Высокоскоростные методы обработки металлов давлением: Учебник / Киев: КВИЦ, 303. (Украина).
11. Тутышкин Н.Д. 1973. Заполняемость и условия работы штампа при высокоскоростной штамповке // Импульсные методы обработки металлов давлением: Сб. тр. Тула: Тульск. политехн. ин-т. 22-27.
12. Кононенко В.Г., Кушнаренко С.Г., Коллеров В.В. 1978. Высокоскоростная точная объемная штамповка деталей из титановых сплавов. / Кузнечно-штамповочное производство. № 5. 6-8.
13. Грушко А.В. 2011. Определение параметров скоростного упрочнения материала по его твердости / Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. пр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». № 45. 119-124. (Украина).
14. Огородников В.А. 2012. Моделирование процессов обработки давлением на основе гипотезы о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования / В.А. Огородников, А.В. Грушко, И.А. Деревенько // Обработка металлов давлением: Сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА. №4(34). 46-52. (Украина).
15. Грушко А.В. 2011. Моделирование процесса упрочнения поверхностного слоя заготовки методом конечных элементов при деформирующем протягивании / А.В. Грушко, И.Ю. Ростокский // Вестник Сумского государственного университета. Серия «Технические науки». – Сумы, № 4. 43-53. (Украина).

16. **Огородников В.А. 2005.** Энергия. Деформации. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы). Монография / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, П.О. Сивак. – Винница. УНІВЕРСУМ, Винница, 204. (Украина).
17. **Огородников В.А. 2005.** Учет скоростного упрочнения материалов при оценке энергии пластического деформирования элементов конструкции автомобиля / Огородников В.А., Грушко А.В., Захаров В.В. // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ. Вып. 3. 26-33.
18. **Werner H. und Gese H. 2002.** Zur Bedeutung dehnratenabhängiger Werkstoffkennwerte in der Crashsimulation. Kennwertermittlung für die Praxis. Tagungsbald Werkstoffprüfung. 139-146.
19. **Dell H.; Gese H.; Kepler L.; Werner H., Hooputra H. 2001.** Continuous Failure Prediction Model for Nonlinear Load Paths in Successive Stamping and Crash Processes, SAE – Paper 2001 – 01 - 1131, New Sheet Steel Produkts and Steet M.etal Stamping (SP – 1614), SAE 2001 world Congress, Michigan, march 5 – 8. 113–122.
20. **Огородников В.А. 2011.** Параметры напряженного состояния диаграмм пластичности / В.А. Огородников, И.А. Деревенько, Л.И. Алиева // Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА. №4 (29). 10–18. (Украина).

#### SSESSMENT OF THE EFFECT OF SPEED IN COLD DIE FORGING

**Summary.** Curves flow of steel in terms of quasi-static and dynamic loading. The influence of strain rate on the type of flow curve. It is shown that a change is necessary to consider the mechanical characteristics , caused by the dynamic loads .The effect effect when calculating the speed of the specific energy. It is shown that the specific potential energy is greater in comparison with the dynamic loading with Energy metal consumed in the quasi-static load conditions. The results make it possible to be made more precise thread-power parameters processes.

**Key words:** curve flow, speed effects, potential energy, statics, dyna.