

УДК 621.771

Алиева Л. И.  
Абхари П.  
Бондарева Е. Н.

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твердость. Определение твердости производится чаще, чем испытания на другие механические характеристики металлов: прочности, относительного удлинения и др. [1, 2].

Указанные механические характеристики связаны между собой, поэтому их конкретные значения могут быть найдены расчётным путём на основе данных о твёрдости с помощью формул, полученных для конкретного материала с определённой термообработкой [3].

Целью настоящего исследования является анализ напряженного состояния с использованием метода, сочетающего метод твёрдости и методику координатных сеток с методом конечных элементов (МКЭ).

Твёрдостью материала называют способность оказывать сопротивление механическому проникновению в его поверхностный слой другого твёрдого тела. Для определения твёрдости в поверхность материала с определённой силой вдавливается тело (индентор), выполненное в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твёрдости материала. В зависимости от способа измерения твёрдости материала, количественно её характеризуют числом твёрдости по Бринеллю (НВ), Роквеллу (HRC) или Виккерсу (HV).

В результате вдавливания достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Величина внедрения наконечника в поверхность металла будет тем меньше, чем тверже испытываемый материал.

Если заранее для исследуемого металла установить функциональную связь между твёрдостью и интенсивностью напряженного состояния, то по замеренной твёрдости в исследуемых зонах выдавленной заготовки из данного металла можно судить о степени произошедшей деформации и об интенсивности напряженного состояния на требуемой стадии формоизменения. Дель Г. Д. показал, что зависимость между твёрдостью и интенсивностью напряжений является единой для различных схем напряженного состояния и не зависит от пути нагружения [4, 5].

Для исследования напряженного состояния заготовок при радиальном выдавливании выбраны методы координатных сеток и измерения твердости, позволяющие изучить закономерности формирования зон пластического течения, распределения величин деформации и интенсивности напряжений по сечению детали и дать заключение о качестве выдавливаемой детали.

Сплошная заготовка из меди М1 высотой 31 мм и диаметром 15,2 мм подвергалась радиальному выдавливанию с односторонней и двухсторонней подачей металла заготовки в рабочую полость.

Значения высоты полости под фланец принималось равным  $h = 7$  мм, ход для односторонней и двухсторонней подачи принимался  $S = 10,7$  мм. Для двух схем принималось отношение  $S/R_0 = 1,4$ . После выдавливания в меридиональной плоскости образца измерили твёрдость HV 10 и по ней определили распределение интенсивностей напряжений  $\sigma_i$ , которые в последствии сравнивали с теоретическим решением (рис. 1–2).

Измерив твёрдость по Виккерсу (HV) и используя тарировочные графики, можно получить изолинии интенсивности напряжений  $\sigma_i$ , которые показаны на рис. 1–2.

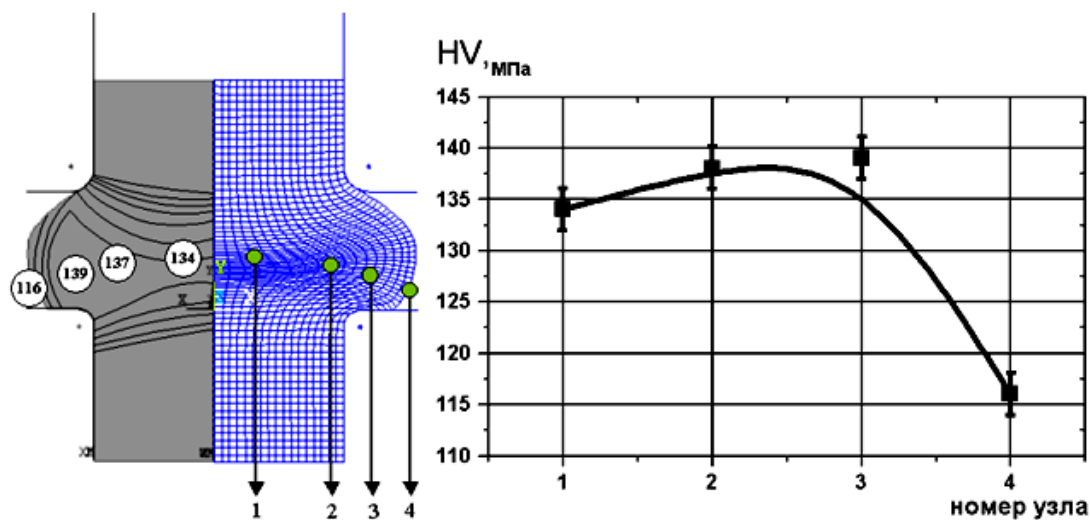


Рис. 1. Распределение твердости по сечению заготовки для различных узлов при односторонней подаче ( $S/R_0 = 1,4$ )

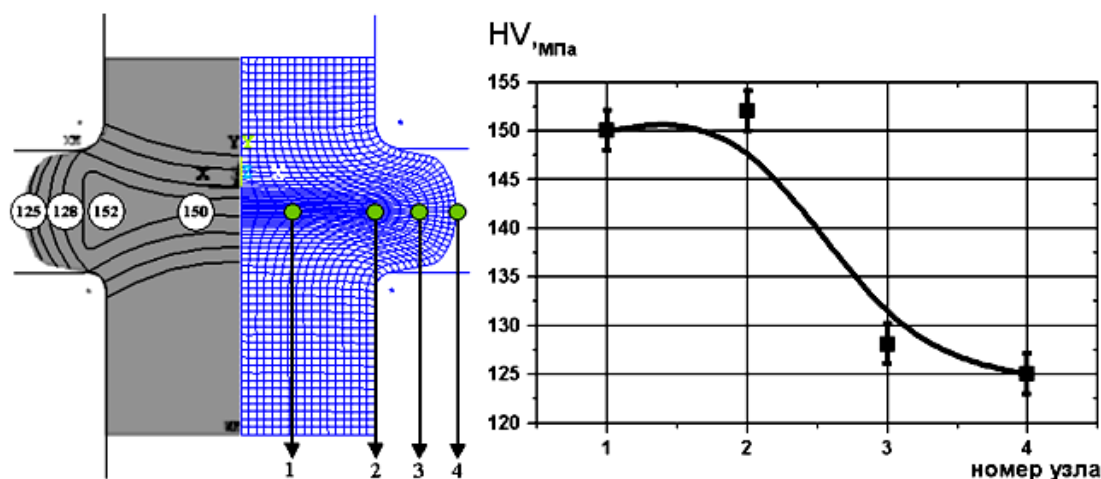


Рис. 2. Распределение твердости по сечению заготовки для различных узлов при двухсторонней подаче ( $S/R_0 = 1,4$ )

Как видно из рис. 1–2, зона максимального упрочнения при односторонней подаче металла (рис. 1), как и зона максимального напряжения, примыкает к нижней границе очага деформации. Наибольшее упрочнение приобретают частицы металла, расположенные в переходной (из центральной зоны во фланец) зоне детали. А при двухсторонней подаче металла максимальное упрочнение и зона максимального напряжения находятся в центре очага деформации (рис. 2).

Установлено, что при радиальном выдавливании с односторонней подачей форму фланца можно описать параболической кривой. При выдавливании с двухсторонней подачей для фланца характерна клинообразная форма. В обоих случаях происходит незаполнение круговой полости под выдавливание фланца.

Такие параметры напряженного состояния, как значения главных компонентов напряжений, гидростатического давления и показателя схемы напряженного состояния, определить методом измерения твёрдости невозможно. Для этого необходим синтез экспериментальных методов твёрдости и определения деформаций.

МКЭ было проведено исследование напряженного состояния заготовок в процессах радиального выдавливания по выше приведенным схемам (рис. 3–4) [6]. Определено, что при радиальном выдавливании фланцев с односторонней подачей очаг деформации имеет несимметричную форму, а при выдавливании по схеме с двухсторонней подачей симметричную в продольном сечении. Установлено, что при радиальном выдавливании фланцев очаг деформации по высоте ограничивается высотой приемной полости под фланец, а зона наибольших напряжений в процессе выдавливания непрерывно смещается вниз очага деформации по ходу движения пуансона.

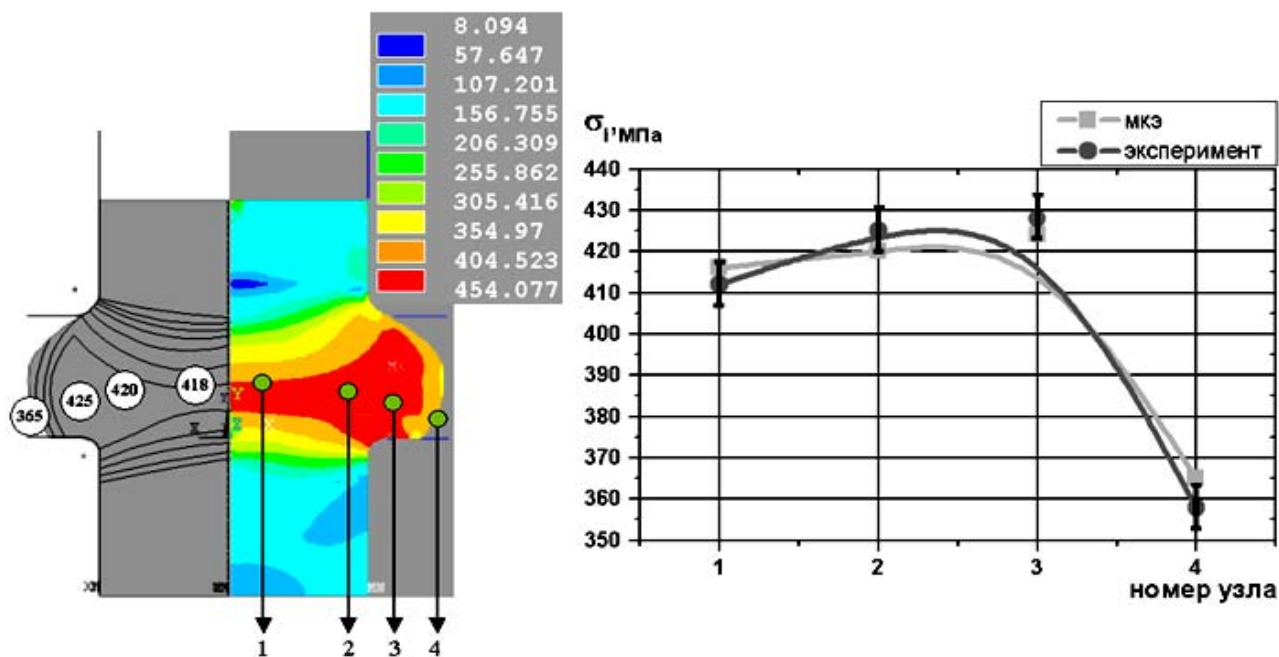


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений по сечению заготовки для различных узлов, найденное экспериментально и теоретически, при односторонней подаче ( $S/R_0 = 1,4$ )

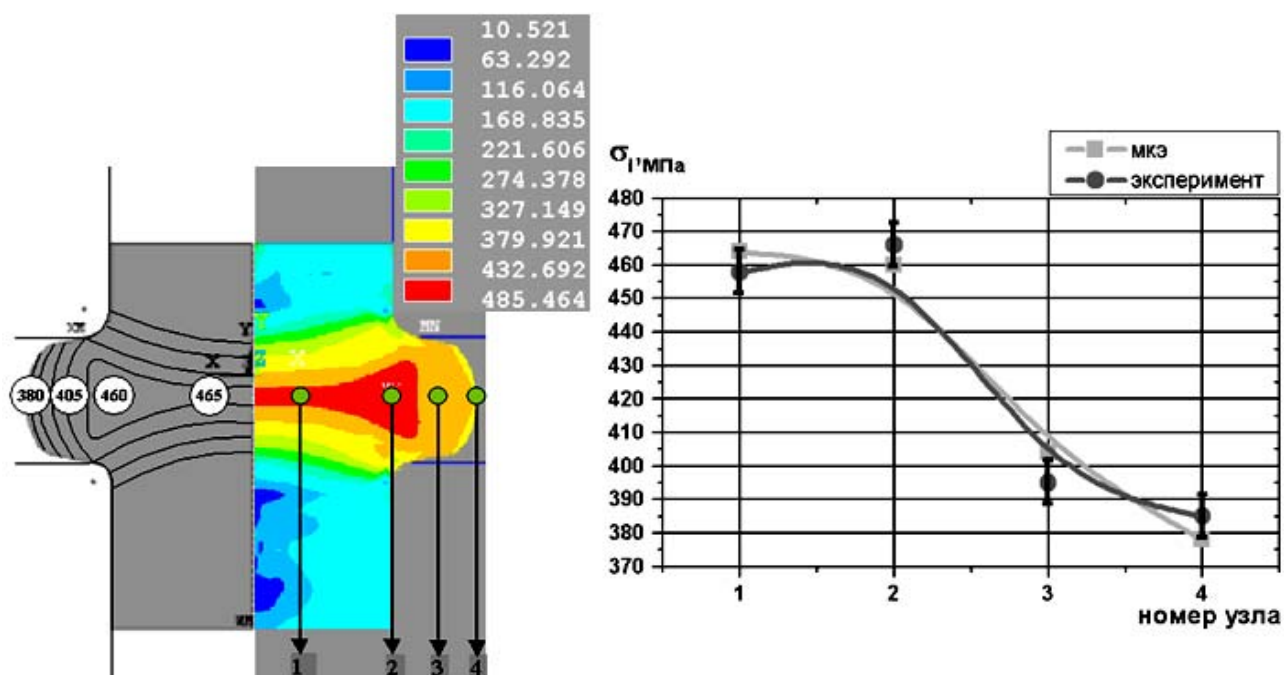


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений по сечению заготовки для различных узлов, найденное экспериментально и теоретически, при двухсторонней подаче ( $S/R_0 = 1,4$ )

Установлено, что при выдавливании с односторонней подачей металла очаг деформации имеет несимметричную форму и пик интенсивности напряжений на графиках непрерывно смещается вниз по ходу выдавливания (рис. 3).

При двухсторонней подаче эпюры распределения напряжений расположены в очаге симметрично на всех стадиях выдавливания, а пик значений интенсивности напряжений приходится на горизонтальную ось симметрии (рис. 4). Для одного и того же значения хода пуансона величина интенсивности напряжений для двухстороннего деформирования выше, чем при выдавливании с односторонней подачей.

## ВЫВОДЫ

Экспериментально и МКЭ исследовано напряженное состояние заготовок в процессах радиального выдавливания фланца на стержне с односторонней и двухсторонней подачей.

Установлено, что при выдавливании с односторонней подачей металла, очаг деформации имеет несимметричную форму и пик интенсивности напряжений на графиках непрерывно смещается вниз по ходу выдавливания.

При двухсторонней подаче эпюры распределения напряжений расположены в очаге симметрично на всех стадиях выдавливания, а пик значений интенсивности напряжений приходится на горизонтальную ось симметрии.

Установлено, что для одного и того же значения хода пуансона величина интенсивности напряжений для двухстороннего деформирования выше, чем при выдавливании с односторонней подачей.

Методом изменения твердости установлено напряженное состояние в заготовке при радиальном выдавливании фланцев. Определено, что картина распределения упрочнения полностью повторяет картину распределения напряжений по очагу деформации. Расхождение теоретических результатов оценки интенсивности напряжений с экспериментальными данными находится в пределах 10...15 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Золотаревский В. С. *Механические свойства металлов* / В. С. Золотаревский. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
2. Гудков А. А. *Методы измерения твердости металлов и сплавов* / А. А. Гудков, Ю. И. Сявский. – М.: Металлургия, 1982. – 167 с.
3. Игнатенко В. Н. *Применение холодной объемной штамповки в заготовительном производстве* / В. Н. Игнатенко // *Обработка металлов давлением: сб. науч. трудов.* – 2008. – № 1(19). – С. 168–170.
4. Алиева Л. И. *Прогнозирование незаполнения полости штампа в процессе радиального выдавливания* [Электронный ресурс] / Л. И. Алиева, П. Абхари, Я. Г. Жбанков // *Вестник ДГМА.* – 2009. – № 1(4Е). – С. 8–14. – Режим доступа: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2009\\_1/article/09AISCEP.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2009_1/article/09AISCEP.pdf).
5. Кузнецов Д. П. *Напряженно-деформированное состояние заготовки при холодном поперечном выдавливании* / Д. П. Кузнецов, Е. Т. Савушкин // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1974. – № 3. – С. 5–8.
6. Алиева Л. И. *Исследование процессов радиального выдавливания методом конечных элементов* / Л. И. Алиева, П. Абхари, Я. Г. Жбанков // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов.* – Краматорск: ДГМА, 2009. – № 1 (20). – С. 19–24.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры ОМД ДГМА;

Абхари П. – ассистент кафедры ОМД ДГМА;

Бондарева Е. Н. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua