

УДК 621.715.043

**А. М. Милюкова**

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ КРУПНОГАБАРИТНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ГОРЯЧЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрены и проанализированы различные методы исследования деформированного состояния стальных заготовок режущего инструмента, получаемых пластическим формообразованием. Для поставленной в работе задачи исследования деформированного состояния стальной заготовки крупногабаритного режущего инструмента признано целесообразным использование метода координатных сеток. Приведены результаты исследования влияния степени деформации и температуры на качество полученных изделий, рекомендованы оптимальные режимы обработки крупногабаритного инструмента (диаметром до 80 мм).

**Ключевые слова:** осевой (концевой) инструмент, высоколегированные стали, метод горячего выдавливания, метод координатной сетки, метод твёрдости.

**Введение.** Осевой (концевой) режущий инструмент является одним из наиболее применяемых в металло- и деревообработке. Он изготавливается из дорогостоящих высоколегированных сталей или твёрдых сплавов, и поэтому актуальным является вопрос снижения расхода этих материалов путём изготовления осевого инструмента в биметаллическом исполнении или составным.

В Государственном научном учреждении «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (далее — ФТИ НАН Беларуси) разработаны методы получения биметаллического осевого режущего инструмента, состоящего из рабочей (режущей) части (стали Р6М5, Р9К10) и хвостовика (сталь 40Х), горячим пластическим деформированием через профильную матрицу. При этом одновременно с формированием стружечных канавок происходит образование прочного неразъёмного соединения составных частей инструмента. В некоторых случаях, например, при изготовлении крупногабаритного инструмента (свёрл, развёрток, фрез) диаметром 30 мм и более, целесообразно применять сборный инструмент, в котором рабочая часть изготавливается в виде полого цилиндра, надеваемого на стержень из конструкционной стали. В этом случае рабочую часть (в целях экономии дорогостоящей инструментальной стали или твёрдого сплава) получают методом горячего выдавливания на оправке через профильную матрицу. Для успешного осуществления этой операции необходимо исследовать деформированное состояние заготовки в процессе её пластического формообразования. В данной работе рассматриваются различные методы определения деформированного состояния заготовок из сталей Р6М5, Р9К10, а также представлены результаты исследования деформированного состояния заготовки крупногабаритного режущего инструмента.

**Исследование силовых параметров процесса горячего выдавливания крупногабаритного инструмента в зависимости от степени деформации и температуры.** Исследование силовых параметров процесса горячего выдавливания по разработанной методике осуществляли при выдавливании заготовок инструмента из сталей Р6М5 и Р9К10 длиной 40 мм круглого сечения диаметром 80 мм со степенями деформации 45, 60, 70 и 80% при температурах 900, 1 000, 1 100 и 1 200°C (по 3 заготовки на каждый режим выдавливания). Получены зависимости средних удельных усилий от степени деформации и температуры: при повышении температуры выдавливания от 900 до 1 200°C при степени деформации 60% удельные усилия выдавливания стали Р6М5 уменьшаются от 61,1 до 41,2 кПа, а для стали Р9К10 — от 75 до 46,1 кПа (таблица 1). Установлено, что характер изменения удельных усилий для исследуемых сталей примерно одинаков, но при выдавливании заготовок из стали Р9К10 средние удельные усилия выдавливания выше на 10...20%, чем при выдавливании заготовок из стали Р6М5. Это объясняется большим содержанием вольфрама в стали Р9К10.

Т а б л и ц а 1 — Удельные давления выдавливания для сталей Р6М5 и Р9К10 при различных степенях деформации и температурах

В килопаскалях

| Температура<br>выдавливания, °С | Степень деформации |       |      |       |      |       |      |       |
|---------------------------------|--------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
|                                 | 45%                |       | 60%  |       | 70%  |       | 80%  |       |
|                                 | Р6М5               | Р9К10 | Р6М5 | Р9К10 | Р6М5 | Р9К10 | Р6М5 | Р9К10 |
| 900                             | 51,8               | 62,3  | 61,1 | 75,0  | 70,4 | 87,0  | 83,7 | 103,3 |
| 1 000                           | 44,6               | 53,3  | 53,3 | 62,8  | 59,8 | 72,0  | 66,4 | 83,1  |
| 1 100                           | 36,9               | 45,5  | 42,2 | 52,2  | 46,6 | 59,3  | 51,4 | 63,5  |
| 1 200                           | 35,8               | 40,1  | 41,2 | 46,0  | 45,1 | 50,3  | 48,9 | 52,7  |

Путь деформирования  $L$  в зависимости от угла поворота  $\alpha$  эксцентрика прессы можно представить следующим выражением:

$$L = R(1 - \cos \alpha) + l \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{l^2} \sin^2 \alpha} \right)$$

где  $R$  — радиус эксцентрика, мм;

$l$  — длина шатуна, мм.

В связи с тем, что для прессы К2132 отношение  $R/l$  мало, разность  $\left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{l^2} \sin^2 \alpha} \right) \approx 1$  для всех

углов. Это позволяет с достаточной точностью определять перемещения ползуна по формуле

$$L = R(1 - \cos \alpha) = 125(1 - \cos \alpha).$$

Наибольшая ошибка при этом составит не более 3%.

Исходя из качества полученных изделий и удельных усилий, необходимых для выдавливания, можно рекомендовать для стали Р6М5 температуры выдавливания 1 080...1 100°С при степенях деформации 75...80%, а для стали Р9К10 — 1 150...1 200°С при степенях деформации 70...80%.

**Методы определения деформированного состояния заготовок режущего инструмента, полученных пластическим формообразованием.** Для определения основных параметров и характеристик исследуемого процесса прессования применяются различные методы. Так, для получения данных о деформированном состоянии прессуемого металла применяют такой экспериментальный метод исследования характера течения металла, как метод координатной сетки, применяемый и на моделях, и в производственных условиях прессования [1].

Сущность метода координатной сетки заключается в разделении заготовки по одной из профильных плоскостей симметрии на два равных полуцилиндра, на поверхность разъёма которых наносят координатную сетку в виде продольных или поперечных канавок глубиной и шириной не менее 0,25...1,00 мм (в зависимости от размеров образцов), образующих квадраты или прямоугольники. В канавки, образующие сетки, закладывают проволоку, или набивают их огнестойкой массой. Нанесённые ячейки сетки замеряют или фотографируют. Затем части заготовки составляются вместе и подвергаются прессованию как цельное металлическое тело. После прессования заготовки разъединяются, а искажённая деформацией сетка измеряется.

Ввиду того, что поверхность разъёма полуцилиндров является плоскостью симметрии, при одинаковых физических состояниях обоих полуцилиндров одновременная симметричная деформация их не может вызвать появления касательных напряжений в этой плоскости. Степень искажения плоскости разъёма заготовки может служить качественным показателем совпадения плоскости сечения с главной

плоскостью напряжённо-деформированного состояния [2] и позволяет установить характер и количественные показатели деформации.

Применяется также метод составных образцов, который заключается в том, что образец для исследования делают составным из дисков или концентрических слоёв исследуемого металла, а также из элементов других форм. На очищенных отшлифованных сечениях образца видны изменения форм и размеров его элементов на различных участках, что даёт достаточно ясные качественные представления о процессе деформации [3].

Метод вставок заключается в закладке в поверхностный слой образца вставок из металлов, обладающих примерно одинаковой вязкостью в условиях прессования [4].

Структурный метод заключается в изучении макро- и микрошлифов отдельных участков продольных и поперечных сечений отпрессованного образца вместе с пресс-остатком. Такое исследование даёт достаточно ясные представления о расположении упругих зон и зон затруднённых деформаций, о направлениях главных деформаций на различных участках деформируемой заготовки, о характере качественных изменений относительной деформации по различным сечениям и даже о количественных показателях относительной деформации на разных участках заготовки.

Поляризационно-оптический метод, или метод фотопластичности [5], [6], позволяет определить некоторые закономерности течения металла в процессах прессования, близких по своему состоянию к плоскодеформированному.

Известен метод твёрдости, который наиболее эффективно применяется для исследования деформаций, происходящих в дорекристаллизационных температурных условиях, и позволяет приближённо судить о величине деформаций в различных точках исследуемого образца по изменению твёрдости в них. Преимуществом этого метода перед методом координатной сетки является возможность фиксирования немонотонных деформаций.

Знание различных методов позволяет выбрать наиболее приемлемый для решения поставленной задачи: изучения деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента в целях выбора оптимальных режимов деформирования при разработке технологических процессов его получения.

Метод твёрдости и структурный метод применять нецелесообразно, потому что деформация в реальном технологическом процессе осуществляется при температурах, превышающих порог рекристаллизации.

Наиболее целесообразно исследовать деформированное состояние прессуемых заготовок, используя метод координатной сетки. При этом необходимо учитывать сложную конфигурацию режущего инструмента, который может иметь винтовые режущие грани, выполняться не только цельным, но и пустотелым. С учётом этих особенностей была разработана следующая методика эксперимента.

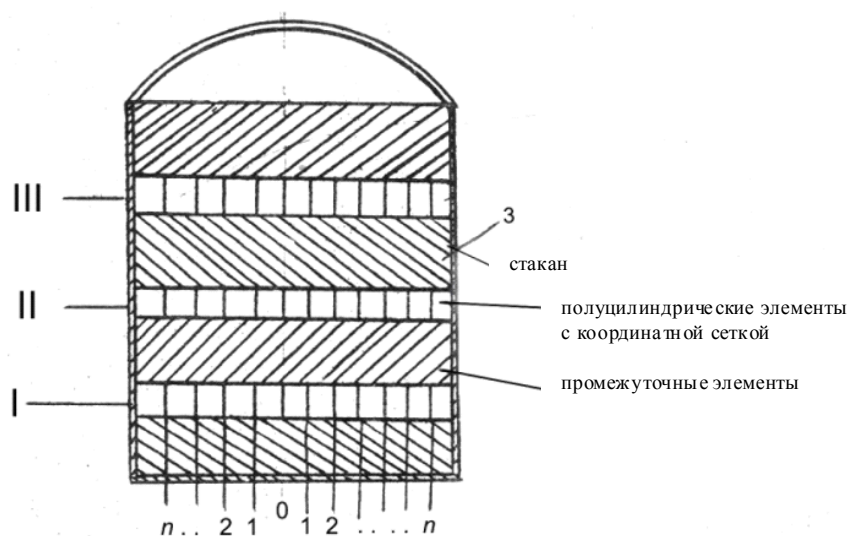
В тонкостенный стакан вставляются полуцилиндрические элементы (рисунок 1, а), имеющие на своей боковой стенке ячейки высотой  $H_0$  и шириной  $A_0$ . На торцевую поверхность полуцилиндра наносится сетка, образующая концентрические полуокружности с радиусами  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , и 10 радиальных рисок, разбивающих полуокружности на 10 частей (угол  $\gamma$ , равный  $18^\circ$ ).

Эти полуцилиндры вставляются в стакан, чередуясь с промежуточными элементами, не имеющими координатной сетки. Вторая половинка образца аналогична вышеописанной. Риски, образующие координатную сетку, заполняются меловым порошком. Предложенная конструкция образца обеспечивает его разрыв после деформации. Измерение элементов координатной сетки до деформации и после неё даёт возможность оценить деформированное состояние по следующим параметрам:

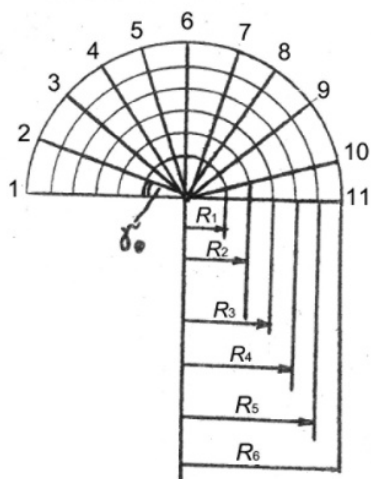
1) локальные вытяжки  $\lambda$  в различных сечениях по высоте образца (сечения I, II, III) на различном удалении от оси образца (сечения 1, 2, 3, ..., n):

$$\lambda = \ln \frac{H_0}{H_1},$$

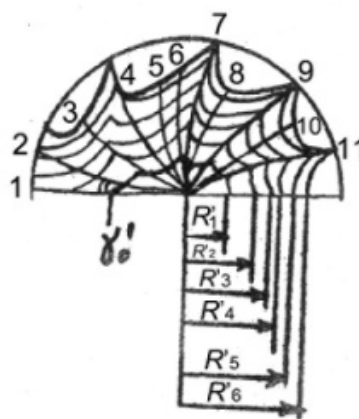
где  $H_0$  и  $H_1$  — высота ячеек до деформации и после деформации соответственно;



a)



б)



в)

а — тонкостенный стакан; б — параметры координатной сетки на торце полумоцилиндрического элемента; в — вид координатной сетки после деформации

Рисунок 1 — Эскиз составной заготовки для исследования деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента

2) поперечные деформации  $\beta$  (распределённые по тем же сечениям, что и  $\lambda$ ):

$$\beta = \ln \frac{A_0}{A_1},$$

где  $A_0$  и  $A_1$  — ширина ячеек до деформации и после деформации соответственно;

3) радиальные деформации  $\delta$  в различных местах поперечного сечения и по высоте образца:

$$\delta = \ln \frac{R_n - R_{n-1}}{R'_n - R'_{n-1}},$$

где  $R$  и  $R'$  — значения радиальных размеров до деформации и после деформации соответственно;

4) угол закручивания радиальных линий (этот параметр определяется только для винтового инструмента) на различном удалении от оси заготовки (т. е. на расстояниях  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ) и на различных по высоте сечениях I, II, III:

$$\gamma_n = f(I, II, III, \dots, N); \quad \gamma'_n = f(1, 2, 3, \dots, n).$$

#### Исследование деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента.

Первоначально для исследования деформированного состояния заготовок крупногабаритного режущего инструмента были использованы прошities круглые заготовки, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5. Для изучения деформированного состояния при пластическом формообразовании заготовок был использован представленный выше метод координатных сеток. Размеры ячеек сетки были приняты равными  $2 \times 2$  мм. Предварительно сваренные части заготовок, на диаметральных плоскостях которых были нанесены сетки со сторонами  $a_0$  и  $b_0$ , подвергали выдавливанию на прессе при оптимальной для стали Р6М5 температуре  $1320 \text{ K}$  ( $1050^\circ\text{C}$ ) в диапазоне избранных степеней деформации (50...80%).

Измерения деформированной координатной сетки со сторонами  $a$  и  $b$  осуществляли с помощью оптического микроскопа с точностью  $0,1 \text{ мм}$  (рисунок 2).

Анализ экспериментальных данных пластического деформирования заготовок режущего инструмента со степенью деформации 80% показывает, что частные деформации вытяжки  $\ln \frac{b_0}{b}$  ( $b_0$  и  $b$  — стороны координатной сетки до деформации и после деформации соответственно) элементов координатных сеток распределены по длине относительно равномерно. Некоторое уменьшение частных деформаций вытяжек наблюдается в периферийных слоях заготовки, находящихся в процессе выдавливания в стадии неустановившегося течения. Небольшим деформациям вытяжки подвергаются наружные слои заготовки, что объясняется различными контактными условиями трения центральных и периферийных слоёв.

Наибольшие радиальные деформации  $\ln \frac{a_0}{a}$  ( $a_0$  и  $a$  — стороны координатной сетки до деформации и после деформации соответственно) наблюдаются в слоях, близлежащих к наружной поверхности (V...VI и VI...VII), что объясняется влиянием внешнего трения, приводящего к дополнительным

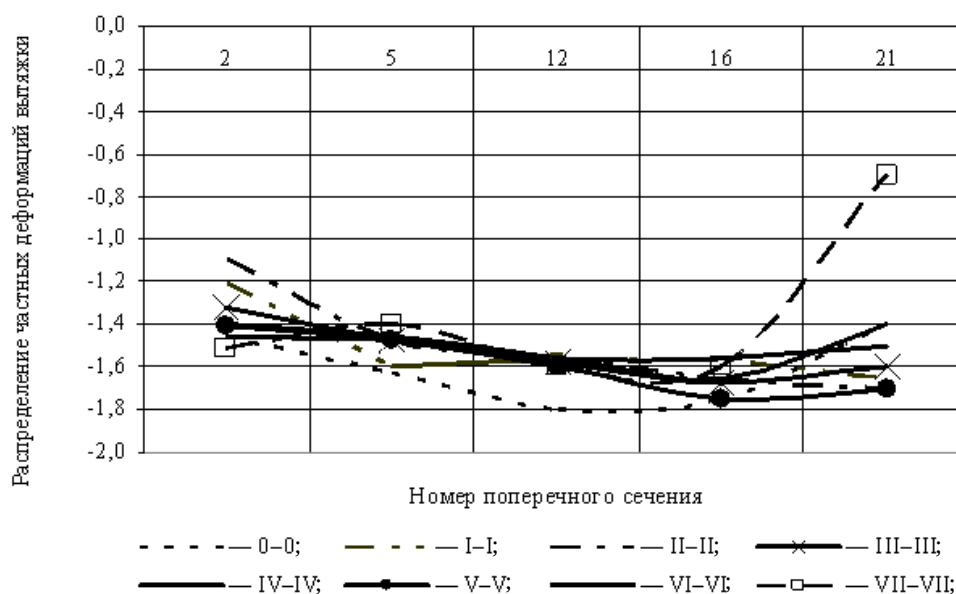


Рисунок 2 — Распределение частных деформаций вытяжки

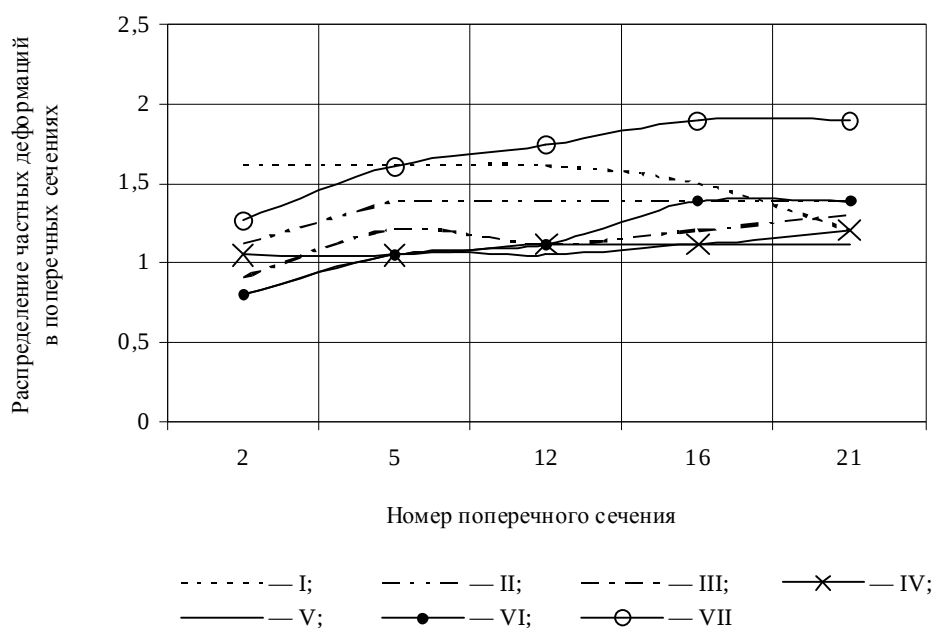


Рисунок 3 — Распределение частных радиальных деформаций в режущем инструменте

сдвиговым деформациям и деформациям вытяжки в поверхностных слоях, а следовательно, и к увеличению в них частных деформаций сжатия (рисунок 3). С удалением от переднего торца заготовки к пресс-утяжке радиальные деформации возрастают и достигают наибольших значений в зоне формирования пресс-утяжины.

**Заключение.** Исследования деформированного состояния заготовок режущего инструмента из инструментальных быстрорежущих сталей показали, что неравномерность частных деформаций незначительна как по длине, так и по сечению выдавленной заготовки. Следовательно, при выбранных степенях деформации (до 80%) процесс деформирования заготовки осуществляется в стационарном режиме, без вероятности образования микро- и макротрещин, что обеспечивает получение качественного, высокопрочного инструмента.

#### Список цитируемых источников

1. Перлин, И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин, Л. Х. Райтберг. — М. : Металлургия, 1975. — 446 с.
2. Смирнов-Аляев, Г. А. Экспериментальные исследования в обработке металла давлением / Г. А. Смирнов-Аляев, В. П. Чикидовский. — Л. : Машиностроение, 1972. — 358 с.
3. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров. — М. : Металлургия, 1986. — 689 с.
4. Макушок, Е. М. Новые методы исследования процессов обработки металлов давлением / Е. М. Макушок. — Минск : Наука и техника, 1973. — 293 с.
5. Губкин, С. И. Фотопластичность / С. И. Губкин, С. И. Добровольский, Б. Б. Бойко. — Минск : Изд-во АН БССР, 1957. — 165 с.
6. Воронцов, В. К. Фотопластичность. Применение метода к исследованию процессов обработки металлов давлением / В. К. Воронцов, П. И. Полухин. — М. : Металлургия, 1969. — 400 с.

Материал поступил в редакцию 22.04.2014 г.

Various methods of research aimed at studying the deformed state of the cutting tool steel billets produced by plastic shaping are analyzed. To realize the goal in the study of the steel billet oversized cutting tools deformed state is to apply the appropriate method of grids use. The results of the research into the degree of strain and temperature influence on the quality of the products are presented, the bulky instrument (up to 80 mm) optimal treatment modes are recommended.

**Key words:** axial (end) tool, high alloy steel, high hot extrusion method, method of grid, hardness method.