

УДК 621.795

В.Н. Яворовский доц., П.В. Полищук студ., О.В. Котеленец студ.  
НТУ Украины «Київський політехнічний інститут» г. Киев, Украина

## РЕЖИМ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ ПРОТЯГИВАНИИ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

Стаття присвячена режимам дорнування в умовах плоскої локальної деформації. Вперше приведена фотографія яка засвідчує те, що при запропонованих режимах відсутня пластична хвиля метала перед фронтальною кромкою пояса дорна. Запропонована методика визначення ступенів пластичної деформації в безпосередній близькості від осередку деформації і розподілення їх по товщині стінки, приведені мікрофотографії структури метала біля дорна і в недеформованій зоні.

The paper concerns to specific conditions of the two-dimensional local state of strain at burnishing. First time a photograph is represented which testifies to the absence of an excessive wave of metal belt in front of the burnishing tool deforming edge at such a regime. The methods of determining rates of stain across the wall thickness of a tube object are offered. Also microphotographs of a structure of the metal at the nearest neighborhood to the burnishing tool are presented.

Ранее описано, что высококачественные результаты процесса пластического протягивания (дорнования) достигаются при малых диаметральных обжатиях. Так, при обжатиях 0,35, 0,45 и 0,65 мм можно получить точность 6 квалитета, а чистота внутренней поверхности, подвергнутой процессу пластического дорнования, становится отвечающей чистоте  $R_a 0,074 \dots 0,096$  при исходной, полученной развёртыванием,  $R_a 1,0 \dots 0,8$  [1,2]. Основной фактор здесь – малое обжатие на диаметр, по мысли авторов, должен был привести к созданию в деформирующей трубе напряженно-деформированного состояния плоской деформации, где отсутствует деформация вдоль оси трубы. Эта задача хорошо известна и описана при деформации трубы внутренним давлением, приложенным в каждой точке поверхности. [3, 4]

Деформирующее протягивание принципиально отличается от вышеприведенного случая локальной деформацией слоев, прилегающих к выглаживающему пояску движущего дорна, который перемещается вдоль оси изделия и в зоне контакта создает объемное напряженное состояние. Этому объемному напряженному состоянию может соответствовать схема деформированного состояния: объемная  $\varepsilon_\theta > 0$ ;  $\varepsilon_r < 0$  и  $\varepsilon_o > 0$  или  $\varepsilon_o < 0$ , где деформации  $\varepsilon_\theta$ ,  $\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_o$  – окружные, радиальные и осевые, либо плоская  $\varepsilon_\theta > 0$ ,  $\varepsilon_r < 0$ ,  $\varepsilon_o = 0$ , (const).

Если схема деформированного состояния объемная, то должна увеличиваться длина исходной заготовки (рис.1) [5]. В этом случае далеко впереди инструмента – дорна перемещается пластическая волна деформируемого металла, (рис.2). Если величина натяга на диаметр при деформирующем протягивании выбрана такой, что осевая деформация  $\varepsilon_o = f(l)$ , где  $l$  – длина пути дорна, то-есть деформация переменна, то пластическая волна, представляющая кольцеобразный валик металла перед торцом инструмента – дорна увеличивается в объеме. Постепенно растет

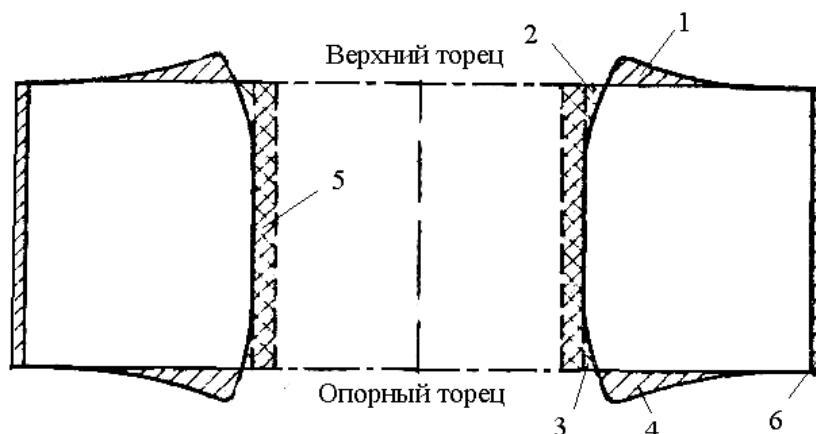


Рис. 1. Схема смещения металла по объему втулки при дорновании [5]  
1,4- пластическая волна на верхнем и опорном торце; 2,3- утяжины цилиндрического отверстия у обоих торцов; 5- пластическая деформация вдоль отверстия; 6- пластически деформированный слой на наружной поверхности

средняя величина его пластической деформации с соответствующим упрочнением этого слоя и потерей его ресурса пластичности. Если длину заготовки ограничить длиной, в которой еще не исчерпывается ресурс пластичности, то пластическая волна выходит на торец заготовки, и форма изделия соответствует форме, изображенной на рис.1. Это обычный вид изделий небольшой длины, полученных деформирующим протягиванием, где натяги на диаметр имеют значительную величину. Ясно, что короткие изделия следует механически обрабатывать по их торцам.

Если длина заготовки неограничена (в 10, 100 раз больше диаметра отверстия), то накапливающаяся в валике металла пластическая деформация ведет к исчерпанию пластических свойств, и в этих условиях происходит его разрушение или срезание с формированием стружки [5]. Дальнейшее продолжение дорнования может привести к повторному или регулярному срезу валиков и формированию стружки вдоль оси изделия, толстостенной трубы, - в зависимости от её длины.

Таким образом, для получения качественной внутренней поверхности без срезов, утяжин и наплывов на торцевых поверхностях следует свести локальную деформацию деформирующего протягивания к плоской деформации. Если обеспечить условия плоской деформации при  $\varepsilon_o = const$ , то при любом соотношении размеров толстостенной трубы бесконечно малые остаточные радиальные и окружные деформации  $\varepsilon_r$  и  $\varepsilon_\theta$ , соответственно определяются по формулам (1) и (2) [3] для идеально пластичного материала.

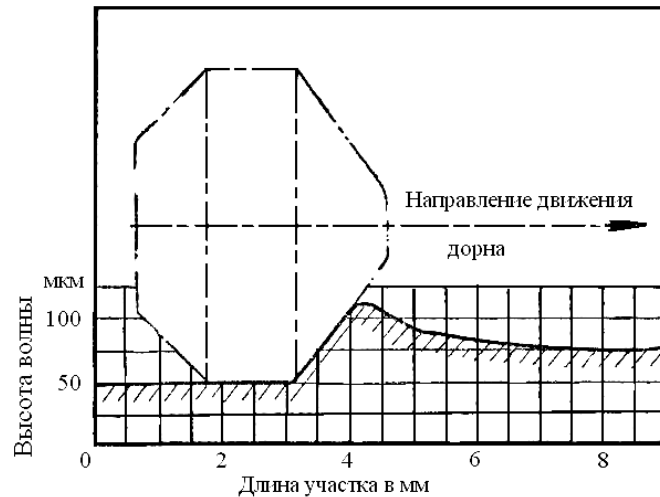


Рис. 2. Профиль пластической волны металла, получающейся при дорновании в отверстии [5]

$$\varepsilon_r = -\frac{\varepsilon_o}{2} - \frac{C}{r^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_\theta = -\frac{\varepsilon_o}{2} - \frac{C}{r^2}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_o$  – некоторая осевая деформация, которая равна постоянной величине вдоль всей длины трубы,  $r$  – радиус рассматриваемого кольцевого слоя,  $C$  – постоянная интегрирования, определяющаяся из граничных условий.

Если это упруго-пластическое состояние, то те же деформации  $\varepsilon_r$  и  $\varepsilon_\theta$  можно представить с учетом оговорок, что отношение  $\sigma_r / \sigma_\theta$  и  $\sigma_\theta / \sigma_r$  остаются постоянными в любой момент пластической деформации, в виде (3) и (4) [3].

$$\varepsilon_r = -\frac{\varepsilon_o}{2} - \frac{3C_2}{2\sqrt{2}r^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_\theta = -\frac{\varepsilon_o}{2} - \frac{3C_2}{2\sqrt{2}r^2} \quad (4)$$

где  $C_2$  – также постоянная интегрирования, определяемая из граничных условий.

В любом случае радиальная и окружная деформации быстро убывают с увеличением радиуса слоя  $r$ , при этом при применяемых в производстве натягах пластическая деформация постепенно переходит в упругую.

Итак, при деформирующем протягивании толстостенной трубы всегда следует ожидать, что внутренние слои, прилегающие к стенкам отверстия, претерпевают пластическую деформацию в то время, как слои, прилегающие к наружной поверхности, находятся в упругом состоянии. Значит для осуществления плоской деформации при локальном нагружении следует рассчитывать режимы, при которых осевая деформация постоянна, в частности

$$\varepsilon_o = 0. \quad (5)$$

Исходя из этого, для создания условий плоской деформации подсчитываются обжатия на диаметр, при которых выполняется условие (5). Для этого задается положение кольцеобразного слоя, где осуществляется переход от пластической деформации к упругой [6]. Для конкретного случая, - пистолетного ствола калибра 9 мм, - диаметрально обжатие в 3 сериях экспериментов составляет ряд значений, указанных выше. При принятом диаметре отверстия тогда толщина стенки составляет 2,55...2,64 мм. Продольный разрез дорна и заготовки в процессе деформирующего протягивания, полученный электронским способом и подготовленный для последующих металлографических исследований, свидетельствует именно о плоской деформации, так как никакого смещения металла вдоль оси не наблюдается.

Создание условий плоской деформации связано с намеренно вызванной неравномерной деформацией в окружном и радиальном направлениях. Неравномерность же пластической деформации вызывает остаточные напряжения после завершения технологического процесса.

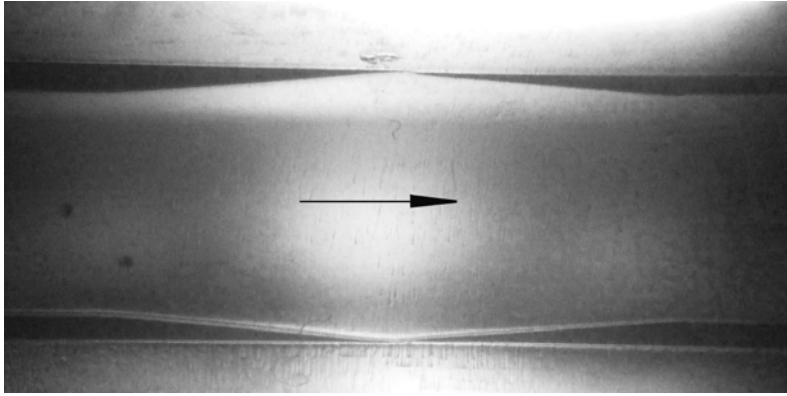


Рис.3. Продольный разрез дорна и заготовки в процессе деформирующего протягивания для диаметрального обжатия 0,45 мм

наибольшем диаметральном обжатии 0,65 мм [7] показывают, что остаточные напряжения в поверхностном слое достигают предельных значений (6).

$$\sigma_{ост.наиб.} \leq 1,15\sigma_s, \quad (6)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести, [8].

Это может привести к образованию микротрещин по размерам на уровне высоты микронеровностей, соответствующей грубому и тонкому шлифованию. Это также свидетельствует, что локальные деформации в слоях, прилегающих к перемещающемуся дорну, могут достигать величин, соизмеримых с относительным удлинением  $\delta_{10}$  применяемой стали 14X17H2 с учетом её упрочнения при пластической деформации, то-есть 15...20%.

Как указано у Ю.Г. Проскурякова [5], при дорновании под влиянием сил трения и продольных составляющих усилия деформирования происходит смещение поверхностных слоев в направлении движения дорна. И наконец

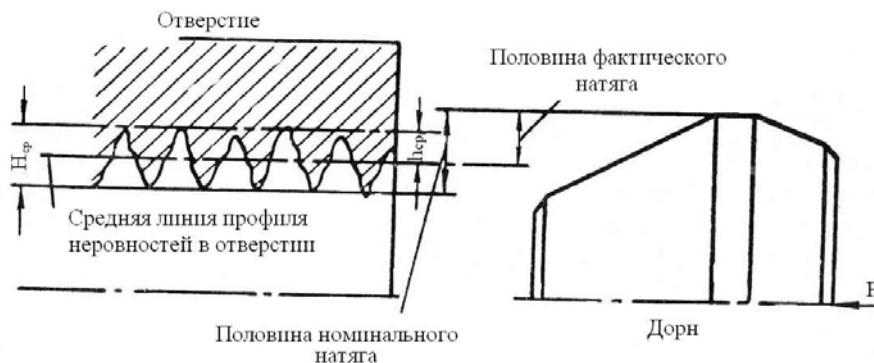


Рис. 4. Уменьшение натяга при полном сглаживании микронеровностей [5]

процесс дорнования сопровождается смятием поверхностных микронеровностей в отверстии. Если гребешки микронеровностей расположены, как микровитки резьбы (рис.4), то они сдвигаются в направлении движения дорна и полностью или частично заполняют впадины микронеровностей. Если риски направлены вдоль оси трубы, то гребешки сминаются и заполняют впадины

окружной деформацией.

Если рассматривать профиль шероховатости заготовки (рис.5), то его характеризует среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dk \cong \frac{1}{n} \sum_0^n |y_i|, \quad (7)$$

где  $y_1...y_i$  – отклонения профиля от средней линии m-m в пределах базовой длины  $l$ . Положение средней линии m-m таково, что заштрихованные площади периодических волн неправильной формы (рис.5) статистически равны между собой. При этом объем впадин всегда больше объема выступов, и пластическая деформация смятия микронеровностей не приводит к накоплению пластически деформированного металла перед деформирующим пояском дорна.

Однако полученные показатели качества изделий после дорнования нельзя объяснить переупрочнением исходных микронеровностей. В исследуемом режиме создается новая упрочненная поверхность с отличным от исходного профилем микронеровностей, при этом диаметральные натяги дорнования на 2...4 порядка больше высоты микронеровностей исходной поверхности.

Определение величины локальных деформаций вблизи поверхности дорна и по толщине стенки определяется по микроструктуре, приобретенной в результате холодной пластической деформации. Именно вытягивание и переориентировка зерен и образование текстуры позволяет после соответствующей обработки микроструктур определить величины деформаций и напряжений в рассматриваемых точках [10]. Из разрезанных в диаметральной

плоскости изделий, где дорнование прекращалось на середине хода, изготавливались образцы для изучения микроструктуры.

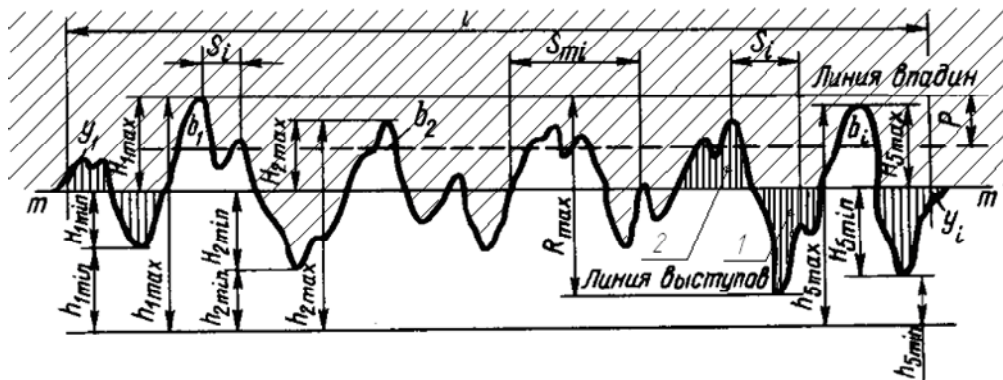


Рис.5 Профиль шероховатости поверхности [9]

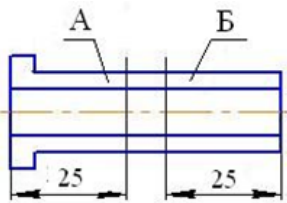
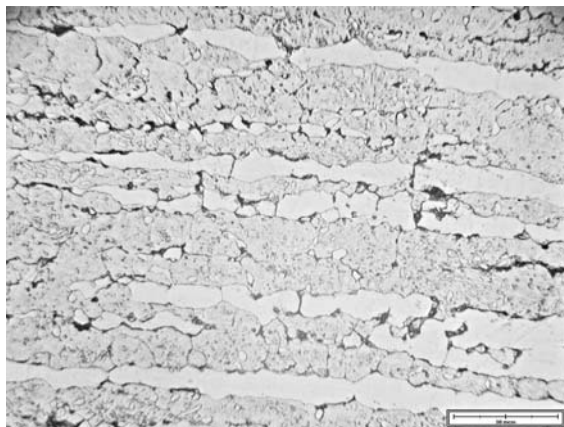
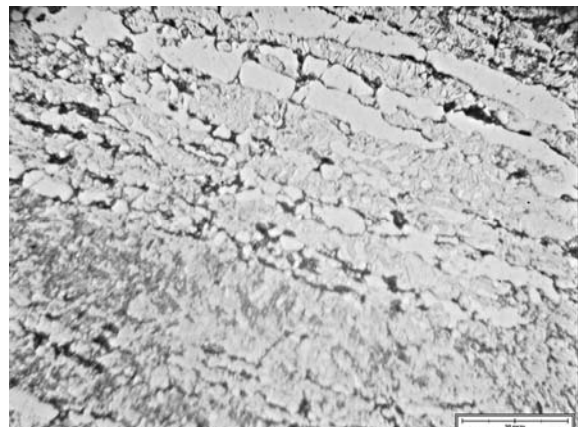


Рис. 6. Схема подготовки образцов для исследования микроструктуры

В деформированной зоне А исследуется микроструктура в 4 точках по толщине стенки: между точками вблизи образующей отверстия и наружной поверхности. Для суждения об отклонениях в деформированной структуре по сравнению с исходной исследуется также микроструктура в недеформированной части трубы (зона Б). Микроструктура в точке, прилегающей к пояску дорна, и в недеформированной зоне Б даны на рис. 7.



а



б

Рис.7. Микроструктура изделия в различных точках образцов для деформирующего протягивания с диаметральным обжатием 0,45 мм: а- в точке, прилегающей к пояску дорна; б- в недеформированной зоне

Сложный фазовый состав стали 14X17H2 с неодинаковыми механическими свойствами этих фаз усложняет обработку микрофотографий, однако их обработка на ЭВМ показывает заметно увеличивающуюся длину зерен в слое, прилегающем к деформирующему инструменту.

#### Список литературы

1. Яворовский В.Н., Герасимов О.В., Хмара Ю.В. Качество отверстий у изделий большой длины, обработанных деформирующим протягиванием в условиях плоской деформации // Технологические системы, Киев, №2, 2002г. – С.47-50
2. Титов В.А., Яворовский В.Н., Лавренко И.Г., Герасимов О.В. Некоторые особенности формирования параметров качества отверстия при деформирующем протягивании // Технологические системы, Киев, №5, 2002г. – С. 31-36
3. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. М., Изд. иностранной литературы, 1954, - С. 493-541
4. Малинин. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М., Машиностроение, 1975г. – С. 106-112
5. Проскуряков Ю.Г. Дорнование цилиндрических отверстий. – Москва – Свердловск, Машгиз, 1958, - С. 17-26
6. Яворовский В.Н., Герасимов О.В., Хмара Ю.В., Титов В.А. Теоретическое исследование деформации толстостенной трубы большой длины деформирующим протягиванием небольшим радиальным обжатием // Металлургическая и горнорудная промышленность, Днепропетровск, №8-9, 2002г. – С.366-374.
7. Яворовский В.Н., Герасимов О.В., Титов А.В. Оценка качества изделий большой длины, обработанных деформирующим протягиванием // Вестник НТУ Украины «Киевский политехнический институт», Киев, №46, 2005г. – С.42-48.
8. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М., Машгиз, 1963. С 105
9. Кирилюк Ю.Е. Допуски и посадки. Справочник – Киев, Вища школа, 1987г. – С.119
10. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.П. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. Л., «Машиностроение», 1972г. – С. 211-242