



УДК 621.77.04

Поступила 20.04.2017

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ПРУТКОВОГО СОРТАМЕНТА ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКОЙ

## INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF SEPARATION OF THE BAR ASSORTMENT BY CROSS-SCREW ROLLING

*М. И. СИДОРЕНКО, Л. А. ИСАЕВИЧ, Д. М. ИВАНИЦКИЙ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: denisrodman@tut.by*

*M. I. SIDORENKO, L. A. ISAEVICH, D. M. IVANICKIJ, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty ave. E-mail: denisrodman@tut.by*

*На основе анализа известных способов разделения пруткового сортамента на мерные заготовки установлено, что наиболее эффективным является процесс поперечно-винтовой прокатки с предварительным нанесением на пруток кольцеобразной клиновидного сечения канавки. С целью уменьшения ее глубины предложено в процессе прокатки смещать отделяемую часть материала в плоскости, перпендикулярной оси прутка на величину пластического смятия, характерного для штамповой разрезки сортамента.*

*Based on the analysis of the known methods of separation of the bar stock into cut-to-length sections, it has been found that the most effective is the process of transverse screw rolling with the preliminary application of a ring-shaped wedge-shaped groove to the bar. In order to reduce its depth, it is proposed during the rolling process to displace the separated part of the material in a plane perpendicular to the axis of the rod by the amount of plastic crushing characteristic for the stamp cutting of the assortment.*

**Ключевые слова.** Прутковый сортмент, мерные заготовки, поперечно-винтовая прокатка.

**Keywords.** Bar stock, cut-to-length sections, cross-screw rolling.

Использование передовых технологий обработки металлов давлением, таких, как безоблойная штамповка, холодное выдавливание и др., требует обеспечения качества формы и размеров исходных заготовок, исключаяющего наличия в них вырывов, задигов, смятий и утяжин по торцам и боковой поверхности, отклонений перпендикулярности к оси торцов [1].

В случае разделения прутков резкой пилами на токарных станках электроискровым способом и другими удастся удовлетворить требования, предъявляемые к качеству получаемых заготовок, но теряется значительное количество металла в виде отходов при сравнительно низкой производительности процессов [2]. Более совершенными в этом отношении являются способы разделения прутков в штампах, однако при этом не гарантируется высокое качество отрезаемых заготовок [3,4].

Интенсификация современного производства обуславливает широкое применение в разделительных операциях поперечно-клиновой прокатки [5–10], которая отличается от отмеченных выше способов возможностью формообразования заготовок высокого качества практически без потерь металла в отход при высокой производительности процесса. Вместе с тем, при использовании такого метода разделения прутков на отделяемых заготовках образуются фаски значительной величины (рис. 1), что вызвано сущностью самого процесса и не всегда допускается конечной формой получаемых из них деталей.

Поэтому с целью значительного уменьшения величины технологических фасок предложено устройство [10], в котором после предварительного пластического формообразования в прутке кольцевой канавки клиновидного профиля отделяемую часть последовательно смещают перпендикулярно оси прутка в процессе его вращения (рис. 2), сохраняя параллельными оси исходной и отделяемой части. Схема очага деформации для такого процесса представлена на рис. 3, где показано параллельное смещение одной части прутка относительно другой на величину  $\Delta R$ . Здесь заштрихованная часть прутка относится

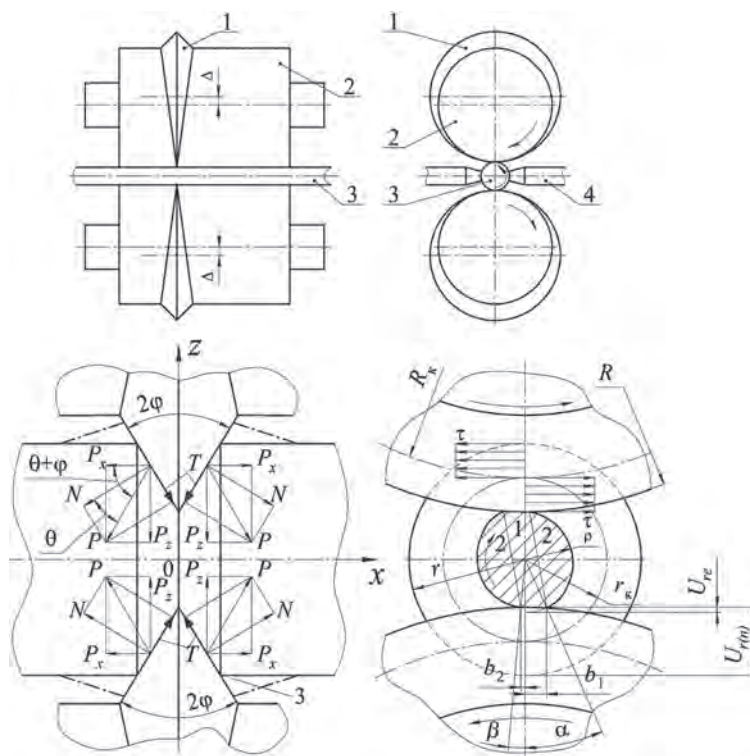


Рис. 1. Схемы разделения пруткового сортамента на мерные заготовки и действующих сил в очаге деформации: 1 – дисковый нож с клиновидным лезвием; 2 – валки; 3 – пруток; 4 – проводки

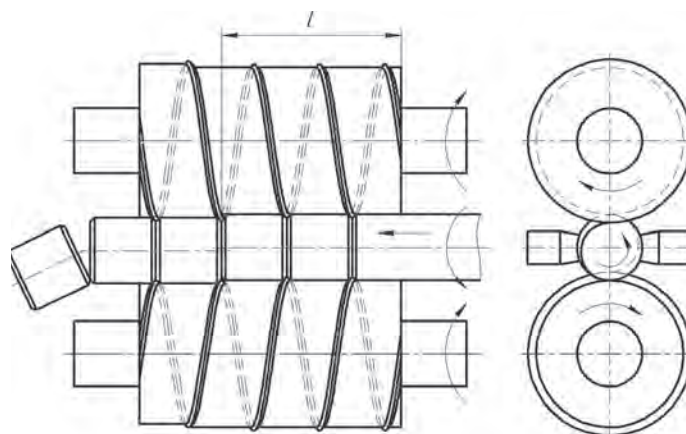


Рис. 2. Схема разделения прутка на заготовки винтовой прокаткой

к сечению, полученному от его пересечения плоскостью, проходящей перпендикулярно оси в зоне между клиновидными ребрами на валках.

Согласно [8–11], при резке прутков в штампах процессу отделения одной части от другой предшествует пластическое внедрение ножей в тело сортамента на определенную глубину. После этого за счет образования и развития встречных трещин в очаге деформации происходит отделение заготовки от прутка. Глубина пластического внедрения ножей в тело прутка зависит от его механических свойств и оценивается величиной относительной деформации:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус разделяемого прутка.

Для стальных прутков она составляет порядка  $\varepsilon = 0,12–0,15$ , а при разделении мягких материалов достигает  $\varepsilon = 0,35–0,40$ .

С целью обеспечения механизма разделения прутка необходимо соблюсти условие его вращения вокруг своей оси в момент пластического внедрения валков в тело разделяемого сортамента (рис. 3).

Ширину площадки смятия, согласно рис. 3, определим из уравнения

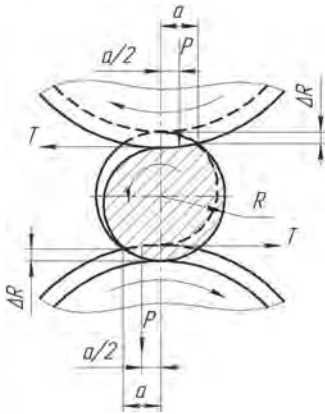


Рис. 3. Схема очага деформации

$$a = \sqrt{R^2 - (R - \Delta R)^2} = \sqrt{\Delta R(2R - \Delta R)}.$$

С учетом выражения (1) получим

$$a = \sqrt{\varepsilon R(2R - \varepsilon R)} = R\sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}. \quad (2)$$

Момент, составленный парой сил  $P$ , можно представить как:

$$M_{\text{кр1}} = 2P \frac{a}{2} = Pa = PR\sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}. \quad (3)$$

С другой стороны, этот же момент уравнивается парой касательных сил  $T$  и составляет

$$M_{\text{кр2}} = 2T(R - \Delta R) = 2TR(1 - \varepsilon). \quad (4)$$

Зададим условие трения на контакте металла с валками по Амонтону [12]  $T = fP$  и подставим это значение в (4):

$$M_{\text{кр2}} = 2fPR(1 - \varepsilon). \quad (5)$$

Подставляя данные величин, входящих в выражения (3) и (5), и далее сравнивая полученные значения, нетрудно убедиться, что  $M_{\text{кр1}} > M_{\text{кр2}}$ . В связи с этим для обеспечения условия вращения прутка в момент его разделения необходим дополнительный резерв сил контактного трения, действующих по касательной к его цилиндрической поверхности в зоне подачи металла в валки (см. рис. 2). Это вполне возможно, если в названной зоне производить поверхностную пластическую деформацию прутка. Нормальные контактные напряжения в этом случае достигают предела текучести  $\sigma_T$  деформируемого металла, а усилие деформирования  $P = \sigma_T al$ , где  $l$  – длина поверхности валков в зоне подачи прутка. Принимая во внимание выражение (2) и пренебрегая бесконечно малыми величинами второго порядка, можно записать  $P = \sigma_T Rl\sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}$ .

Поскольку, согласно [13], при поверхностной пластической деформации  $\varepsilon_1 \leq 0,02$ , последнее выражение примет вид

$$P = 0,2\sigma_T Rl. \quad (6)$$

Тогда по аналогии с уравнением (5) можно найти величину крутящего момента в зоне подачи прутка в валки

$$M_{\text{кр3}} = 2fP Rl(1 - \varepsilon_1) = 0,4f\sigma_T l R^2(1 - \varepsilon_1). \quad (7)$$

Входящая в выражения (3) и (5) величина усилия  $P$ , при котором происходит отделение мерной заготовки от прутка, определится как  $P = \pi R_1^2 \sigma_{\text{ср}}$ , где  $R_1$  – радиус поперечного сечения разделяемого сортамента в зоне кольцевой канавки;  $\sigma_{\text{ср}}$  – напряжение среза в этом же сечении, составляющее, согласно [11],  $\sigma_{\text{ср}} \approx 0,8\sigma_T$ . В связи с этим  $P = 0,8\pi\sigma_T R_1^2$  и уравнения (3) и (5) соответственно примут вид

$$M_{\text{кр1}} = 0,8\pi\sigma_T R_1^2 R\sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)}, \quad (8)$$

$$M_{\text{кр2}} = 1,6\pi f\sigma_T R_1^2 R(1 - \varepsilon). \quad (9)$$

Теперь окончательно запишем условие вращения прутка в момент его разделения на мерные заготовки:

$$M_{\text{кр1}} = M_{\text{кр2}} + M_{\text{кр3}}. \quad (10)$$

Решая данное уравнение совместно с выражениями (7)–(9) относительно искомой величины, после преобразований можно записать

$$l = \frac{2\pi R_1^2}{fR(1 - \varepsilon_1)} \left[ \sqrt{\varepsilon(2 - \varepsilon)} - 2f(1 - \varepsilon) \right]. \quad (11)$$

На рис. 4 показаны зависимости, отражающие изменение длины зоны подачи прутков в очаг разделения их на мерные заготовки от диаметра сортамента из разных материалов при глубине кольцевой канавки 1 мм для всех диаметров.

Данные для построения графиков рассчитаны с помощью уравнения (11). Из рисунка видно, что с увеличением диаметра прутка возрастает и длина зоны подачи, что объясняется, согласно (2), ростом

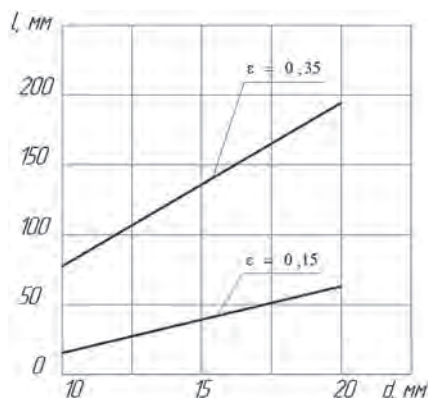


Рис. 4. Зависимость длины зоны подачи прутка в зону разделения от его диаметра:  $\epsilon = 0,15$  – для твердых материалов;  $\epsilon = 0,35$  – для мягких материалов

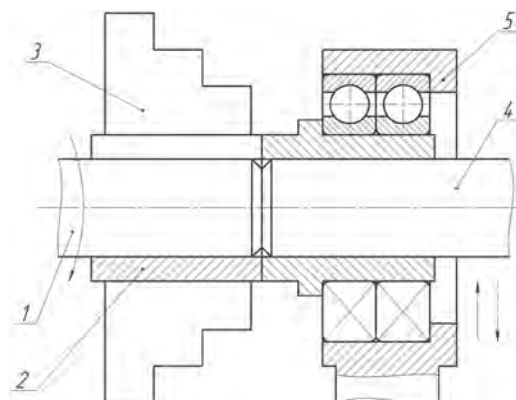


Рис. 5. Схема устройства для разделения прутка на мерные заготовки в токарном станке: 1 – пруток; 2 – разрезная втулка; 3 – патрон; 4 – отделяемая заготовка; 5 – шариковая головка

плеча приложения деформирующего усилия в квадратичной зависимости от степени деформации  $\epsilon$  и это учтено в уравнении (3), в то время как в выражении (4) влияние степени деформации  $\epsilon$  носит линейный характер.

Для экспериментальной проверки предложенного [10] способа разделения прутков на мерные заготовки было разработано устройство (рис. 5), которое смонтировано на токарном станке.

Устройство содержит разделяемый пруток 1, который помещен в разрезную втулку 2 и зажат в патроне 3 токарного станка. Отделяемая часть 4 прутка охвачена жесткой втулкой шариковой головки 5, установленной в резцедержателе токарного станка. Предварительно в прутке с помощью резца на токарном станке наносят кольцевую канавку треугольного профиля различной глубины. Для экспериментальных исследований были использованы прутки диаметром 10 мм из стали 20 и алюминия А7 в состоянии поставки.

Результаты испытаний показали, что в случае разделения прутков из стали 20 величина смещения шариковой головки относительно оси прутка составила 0,7–0,8 мм, что отвечает степени деформации  $\epsilon = 0,14$ –0,16. При разделении прутка из алюминия величина смещения шариковой головки находится в пределах 1,8–2,0 мм, что соответствует степени деформации  $\epsilon = 0,36$ –0,40. В обоих случаях глубина кольцевой канавки изменялась в пределах 0,5–1,0 мм. Меньшие степени деформации в зоне разделения прутка отвечают глубине кольцевой канавки, равной 1,0 мм.

Таким образом, результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований показывают их близкую сходимость.

В это же время представленная на рис. 2 схема разделения прутков методом поперечно-винтовой прокатки отличается сложностью конструкции устройства для ее осуществления. Более простой вариант показан на рис. 6.

В данном случае после каждого поворота валков на угол  $2\pi$  пруток смещается на длину отделяемой заготовки специальным устройством, в то время как по схеме, представленной на рис. 2, смещение прутка вдоль оси осуществляется автоматически самими валками в режиме поперечно-винтовой прокатки.

### Выводы

При разделении прутковых материалов методами поперечно-клиновой прокатки с целью снижения глубины пластически формообразуемой кольцевой канавки в зоне разрушения целесообразно отделяемую часть прутка смещать перпендикулярно его оси на величину пластического смятия, сопровождающего штамповую разрезку сортамента. При этом меньшая степень деформации отвечает более твердым материалам.

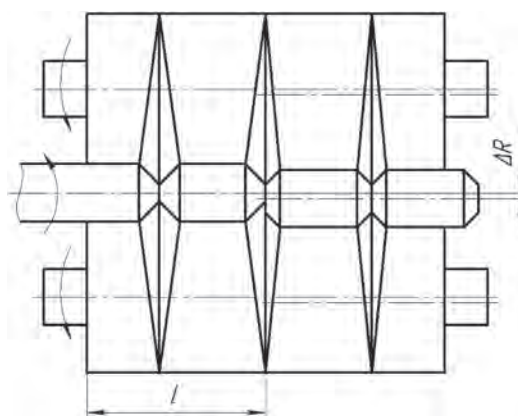


Рис. 6. Сборный инструмент для разделения прутков поперечно-клиновой прокаткой

## Литература

1. Ковка и штамповка: Справ. в 4-х т. Т. 3: Холодная объемная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. М: Машиностроение, 1987. 193 с.
2. Егоров М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. М.: Высш. шк., 1976. 534 с.
3. Соловцов С. С. Отрезка в штампах точных заготовок от сортового проката / С. С. Соловцов. М.: НИИмаш, 1980. 52 с.
4. Совершенствование кузнечно-штамповочного производства / Под ред. П. В. Камнева, К. Н. Богоявленского. Л.: Машиностроение, 1971. 279 с.
5. Клушин В. А. Совершенствование поперечно-клиновой прокатки / В. А. Клушин, Е. М. Макушок, В. Я. Щукин. Минск: Наука и техника, 1974. 155 с.
6. Казанская И. И. Станы для производства точных заготовок машиностроительных деталей / И. И. Казанская, В. Ф. Мухонин, Ю. А. Марков // Кузнечно-штамповочное производство. 1984. № 4. С. 5–8.
7. Васильчиков М. В. Производство точных заготовок машиностроительных деталей прокаткой / М. В. Васильчиков, М. В. Барбарич, Е. А. Жукевич-Стоша. М.: МТЭиТМ, 1968. 338 с.
8. Сидоренко М. И. Разделение прутков на мерные заготовки / М. И. Сидоренко. Минск: ПАРАДОКС, 1999. 228 с.
9. Сидоренко М. И. Особенности разделения пруткового сортамента на мерные заготовки роликовыми клиновидными ножами / М. И. Сидоренко // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2012. № 1. С. 43–50.
10. Устройство для прокатки цилиндрических заготовок из прутка: а. с. 1260087 СССР: МПК4 В21Н 1/18 / А. В. Степаненко, Л. А. Исаевич, М. И. Сидоренко; Белорусский политехн. ин-т. № 3776995; заявл. 06.08.1984; опублик. 30.09.1986 // Б. И. 1986. № 36. С. 28.
11. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. Л.: Машиностроение, 1980. 432 с.
12. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением / Н. П. Громов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Metallurgija, 1978. 360 с.
13. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справ. / Л. Г. Одинцов. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.

## References

1. Semenov V. I. *Kovka i shtampovka. Holodnaja ob'emnaja shtampovka* [Forging and stamping. Cold forging]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 193 p.
2. Egorov M. E. *Tehnologija mashinostroenija* [Technology of mechanical engineering]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1976, 534 p.
3. Solovcov S. S. *Otrezka v shtampah tochnyh zagotovok ot sortovogo prokata* [Cutting in dies of precision billets from long products]. Moscow, NIImash Publ., 1980, 52 p.
4. Kamnev P. V. *Sovershenstvovanie kuznechno-shtampovocnogo proizvodstva* [Improvement of forging and stamping production]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1971, 279 p.
5. Klushin V. A. *Sovershenstvovanie poperechno-klinovoj prokatki* [Perfection of cross-wedge rolling]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1974, 155 p.
6. Kazanskaja I. I., Muxonin V. F., Markov Ju. A. *Stany dlja proizvodstva tochnyh zagotovok mashinostroitel'nyh detalej* [Mills for the production of precision blanks of engineering components]. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo = Forging and stamping production*, 1974, no. 4, pp. 5–8.
7. Vasil'chikov M. V. *Proizvodstvo tochnyh zagotovok mashinostroitel'nyh detalej prokatkoj* [Production of precision blanks of machine-building details by rolling]. Moscow, MTJeiTM Publ., 1968, 338 p.
8. Sidorenko M. I. *Razdelenie prutkov na mernye zagotovki* [Separation of bars into dimensional blanks]. Minsk, PARADOKS Publ., 1999, 228 p.
9. Sidorenko M. I. *Osobennosti razdelenija prutkovogo sortamenta na mernye zagotovki rolikovymi klinovidnymi nozhami* [Features of the division of the bar stock into dimensional billets by roller wedge-shaped knives]. *Vesci Natsyjanal'naj akadzemii navuk Belarusi. Seryja fizika-tehnichnyh navuk = Proceeding the National Academy of Sciences of Belarus. A series of physical and technical sciences*, 2012, no. 1, pp. 43–50.
10. Stepanenko A. V. e. a. *Ustrojstvo dlja prokatki cilindricheskikh zagotovok iz prutka* [A device for rolling cylindrical bars from a rod]. Patent USSR, no. 1260087, 1986.
11. Zubcov M. E. *Listovaja shtampovka* [Sheet stamping]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1980, 432 p.
12. Gromov N. P. *Teorija obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Moscow, Metallurgija Publ., 1978, 360 p.
13. Odincov L. G. *Uprochnenie i otdelka detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem* [Hardening and finishing of parts by surface plastic deformation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 328 p.