

УДК 621.73.06–52

DOI:

Пыц Я. Е., Пыц Е. Я.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИЛ ТРЕНИЯ И СМАЗКИ НА КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ И СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ОБКАТКЕ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

Современные технологии обработки материалов в машиностроении получили развитие в направлении, связанном с решением проблем повышения производительности, качества и эффективности труда, уменьшения расхода материалов и энергии, сокращение их себестоимости. Решение этих проблем, на наш взгляд, невозможно без применения прогрессивных ресурсосберегающих способов обработки материалов давлением.

К таким способам справедливо относят технологию ротационной обкатки полых изделий инструментом трения, иначе фрикционным инструментом. Эта технология имеет существенные преимущества при производстве осесимметричных деталей и полуфабрикатов типа полых корпусов фильтров и гидроцилиндров, переходов, баллонов, роликов ленточных конвейеров и других аналогичных изделий. Технология достаточно просто реализуется на современном оборудовании и легко поддается механизации и автоматизации. Кроме того, обеспечивается существенное уменьшение металлоемкости изделий и трудоемкость обработки [1].

Процесс ротационной обкатки в ряде случаев может конкурировать с ковкой, объемной и листовой штамповкой [2]. Воплощение технологии не требует больших капитальных затрат, возможно использование существующего металлообрабатывающего оборудования, что важно при мелкосерийном и индивидуальном производстве. При изготовлении деталей крупными сериями или при массовом производстве процесс рационально реализовать по схеме роторной обкатки, с использованием роторных обкатных машин.

При ротационной обкатке фрикционным инструментом выделяется значительное количество тепла, использование которого для нагрева деформируемой заготовки существенно уменьшает потребность в энергоресурсах [3].

Деформирование трубчатой заготовки фрикционным инструментом трения достаточно сложный и неустойчивый процесс, для которого характерна локализация пластической деформации, размеры зоны влияния которой значительно меньше размеров деформируемой части заготовки. При таком процессе зона деформации постоянно перемещается вдоль поверхности трубы, симметричная форма поперечного сечения которой в процессе деформирования не сохраняется. При ротационной обкатке непрерывно изменяются длина обкатываемого участка, размеры поверхности контакта, толщина стенки и температурное поле трубы, а также энергосиловые параметры процесса [1–3].

Целью работы является анализ влияния сил трения и смазки на крутящий момент и температуру нагрева при ротационной обкатке трубчатых заготовок.

Процесс обкатки (рис. 1) применяют в производстве бесшовных газовых баллонов: трубчатой заготовке 1 с нагретым до ковочной температуры концом сообщают вращение вокруг своей оси X; одновременно инструменту 2 – поступательное движение вдоль оси Y и Z. Создаваемое локальное давление инструмента на металл обеспечивает деформацию заготовки до заданного инструментом профиля. Деформация происходит в процессе трения-скольжения между инструментом и заготовкой.

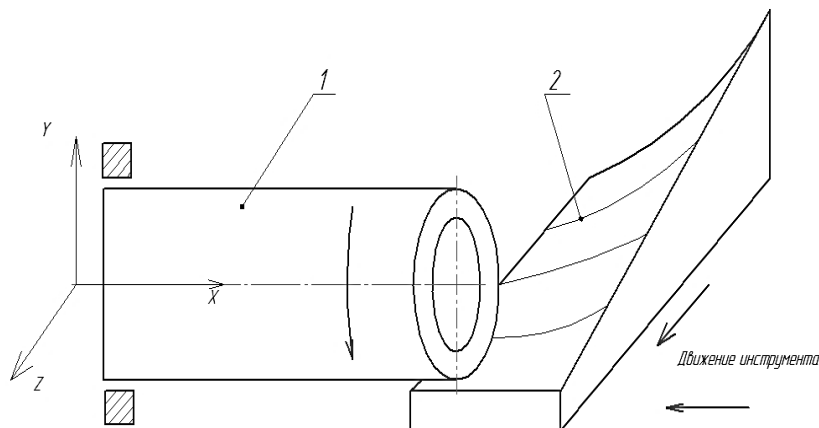


Рис. 1. Схема обкатки трубчатой заготовки:  
1 – заготовка; 2 – инструмент трения

Используя тарифовочные графики по смазке и действующим нагрузкам, а также опытные данные, были выведены формулы, используя которые возможно определить крутящий момент при наличии и отсутствии смазки.

Момент инерции неизменяемой части трубы:

$$I_1 = m_1 \cdot \frac{R_1^2 + R_2^2}{2}, \quad (1)$$

где  $R_1$  – внешний радиус трубы;

$R_2$  – внутренний радиус трубы;

$m_1$  – масса неизменяемой части трубы.

Момент инерции изменяемой части трубы:

$$I_2 = m_2 \cdot \frac{R_1^2 + R_2^2}{2}, \quad (2)$$

где  $R_1$  – внешний радиус трубы;

$R_2$  – внутренний радиус трубы;

$m_2$  – масса изменяемой части трубы.

Крутящий момент при наличии смазки:

$$M = (I_1 + I_2) \cdot \varepsilon - M_{\text{тр1}}, \quad (3)$$

где  $I_1$  – момент инерции неизменяемой части трубы;

$I_2$  – момент инерции изменяемой части трубы;

$\varepsilon$  – угловое ускорение;

$M_{\text{тр1}}$  – момент трения-скольжения со смазкой.

Крутящий момент при отсутствии смазки:

$$M = (I_1 + I_2) \cdot \varepsilon - M_{\text{тр2}}, \quad (4)$$

где  $I_1$  – момент инерции неизменяемой части трубы;  
 $I_2$  – момент инерции изменяемой части трубы;  
 $\varepsilon$  – угловое ускорение;  
 $M_{тр2}$  – момент трения-скольжения без смазки.

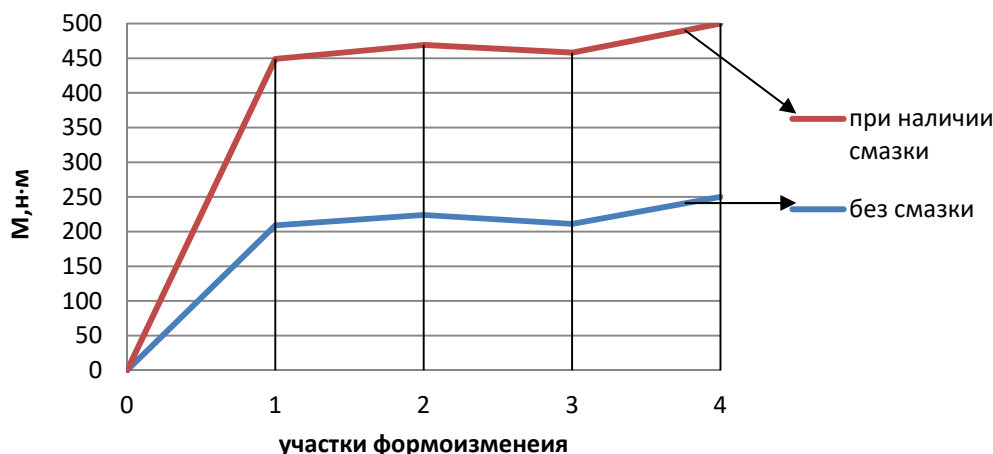


Рис. 2. Изменение крутящего момента при наличии и отсутствии смазки на различных участках формоизменения

Для определения силовых параметров локального деформирования необходимо проанализировать геометрию очага деформации, схема которого представлена на рис. 3.

На рис. 3 приняты следующие обозначения:  $EE_1$  – ось вращения заготовки;  $AD$  – длина образующей в процессе обкатки ( $AD = \rho$ );  $KД = r_{BX}$  – радиус входа заготовки в очаг деформации;  $FB = r_{ВЫХ}$  – радиус выхода заготовки из очага деформации;  $DC = \Delta r$  – изменение радиуса за один оборот заготовки;

Из геометрических соотношений в треугольнике  $ABD$  ( $AB = AD$ ),  $BNC$  и  $BСD$  следует:

$$F = \sqrt{L_T^2 + \rho^2 - B_T^2} \quad (5)$$

где  $F$  – площадь поверхности контакта;  $B_T$  – максимальная ширина поверхности контакта (в торце заготовки);  $L_T$  – длина поверхности контакта в торце заготовки.

Ширина поверхности контакта в торце заготовки определяется по известной зависимости [8]:

$$B_T = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\alpha}{360} \quad (6)$$

Длина поверхности контакта по торцу заготовки определяется из формулы:

$$L_T = \frac{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta \varphi \cdot \cos \varphi \cdot (r_0 - \rho \cdot \sin \varphi)} \cdot \alpha}{360} \quad (7)$$

Расчетная площадь поверхности контакта между заготовкой и деформирующим инструментом имеет вид [9]:

$$F = \sqrt{\left( \frac{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta \varphi \cdot \cos \varphi \cdot (r_0 - \rho \cdot \sin \varphi)} \cdot \alpha}{360} \right)^2 + \rho^2 - \left( 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\alpha}{360} \right)^2} \quad (8)$$

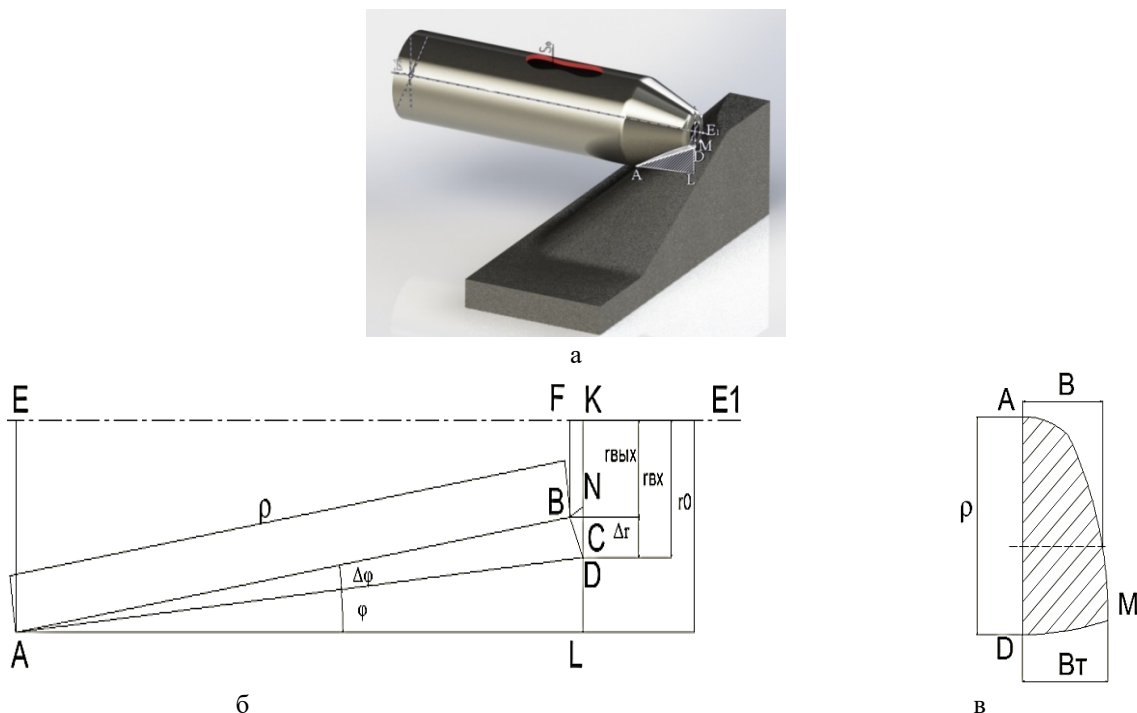


Рис. 3. Геометрические параметры очага деформации:

а – схема очага деформации; б – схема для расчета  $\Delta r$ ,  $r_{BX}$ ,  $r_{BYX}$ ; в – схема площади контакта

Расчет усилий деформирования выполним по аналогии с методикой расчета работ ротационной обкатки, предложенной в [8].

При локальном деформировании сила обкатки включает в себя:

$$P_H = P_D + P_T, \tag{9}$$

где  $P_H$  – сила обкатки;  $P_D$  – сила деформирования;  $P_T$  – сила трения между заготовкой и инструментом.

Согласно [8], силу деформирования при обкатке можно представить как:

$$P_D = P_{ПФ} + P_{ИП} + P_{ИМ} + P_{СК} + P_{ПР}, \tag{10}$$

где  $P_{ПФ}$  – сила, направленная на полезное формоизменение;  $P_{ИП}$  – сила, направленная вдоль пластического изгиба поперечного сечения заготовки;  $P_{ИМ}$  – сила пластического изгиба в меридиональном направлении;  $P_{СК}$  – сила скручивания;  $P_{ПР}$  – сила продольного изгиба трубчатой заготовки.

Составляющие силы обкатки, затрачиваемые на скручивание и продольный изгиб заготовки, являются случайными, их возникновение связано с некорректной организацией технологического процесса. В нормальных условиях влияние этих составляющих на величину силы обкатки незначительно, поэтому при расчетах  $P_H$  ими можно пренебречь.

$$P_{ИП} = \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot \pi}{l_{обк} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi_i} \cdot S_0^2 \cdot r_0 \cdot \sigma_s^i \cdot \ln \left( \frac{r_0 + S_0}{S_0 + r_{BX}} \right) \tag{11}$$

$$P_{ИМ} = \frac{\sum_{i=1}^N 0.5 \cdot (\pi \cdot r_0 \cdot S_0^2 \cdot \sigma_s^i \cdot \Delta \varphi_i)}{l_{обк}} \tag{12}$$

$$P_{пф} = \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{l_{обк} \cdot \cos \varphi} \cdot \sigma_s \cdot \left[ 2 \cdot \sqrt{r_0} \cdot (\sqrt{r_{вх}} - \sqrt{r_{вых}}) \cdot \left( r_0^2 - \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot r_{cp} + \sqrt{r_{вх} \cdot r_{вых}}) \right) + \Delta r \cdot (r_0 - r_{cp}) \right] \quad (13)$$

$$P_d = \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot \pi}{l_{обк} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi_i} \cdot S_0^2 \cdot r_0 \cdot \sigma_s^i \cdot \ln \left( \frac{r_0 + S_0}{S_0 + r_{вх}} \right) + 0.5 \cdot (\pi \cdot r_0 \cdot S_0^2 \cdot \sigma_s^i \cdot \Delta \varphi_i) + \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{\cos \varphi} \cdot \sigma_s \cdot \left[ 2 \cdot \sqrt{r_0} \cdot (\sqrt{r_{вх}} - \sqrt{r_{вых}}) \cdot \left( r_0^2 - \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot r_{cp} + \sqrt{r_{вх} \cdot r_{вых}}) \right) + \Delta r \cdot (r_0 - r_{cp}) \right] \quad (14)$$

$$P_{тр} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^N \frac{P_{cp}^i \cdot F_i}{l_{обк}} \cdot \left( r_0 - \rho \cdot (\sin \varphi^i - \Delta \varphi \cdot \cos \varphi^i) \right) \quad (15)$$

$$P_H = \left( \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot \pi}{l_{обк} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi_i} \cdot S_0^2 \cdot r_0 \cdot \sigma_s^i \cdot \ln \left( \frac{r_0 + S_0}{S_0 + r_{вх}} \right) + 0.5 \cdot (\pi \cdot r_0 \cdot S_0^2 \cdot \sigma_s^i \cdot \Delta \varphi_i) + \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{l_{обк} \cos \varphi} \cdot \sigma_s \cdot \left[ 2 \cdot \sqrt{r_0} \cdot (\sqrt{r_{вх}} - \sqrt{r_{вых}}) \cdot \left( r_0^2 - \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot r_{cp} + \sqrt{r_{вх} \cdot r_{вых}}) \right) + \Delta r \cdot (r_0 - r_{cp}) \right] \right) + \left( 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^N \frac{P_{cp}^i \cdot F_i}{l_{обк}} \cdot \left( r_0 - \rho \cdot (\sin \varphi^i - \Delta \varphi \cdot \cos \varphi^i) \right) \right) \quad (16)$$

где  $S$  – текущая толщина стенки трубчатой заготовки;  $r_{изг}$  – радиус изгиба поперечного сечения трубы;  $\sigma_s$  – напряжение сопротивления деформации;  $\varphi$  – угол наклона образующей инструмента;  $\Delta \varphi$  – шаг изменения угла наклона инструмента;  $l_{обк}$  – длина пути очага деформирования.

Текущая толщина стенки трубы  $S$  зависит от начального радиуса трубы  $r_0$ , текущего радиуса  $r$  и исходной толщины стенки заготовки  $S_0$ . Текущую толщину стенки трубы в процессе деформирования определим по зависимости аналогичной с операцией осесимметричного обжима для линейной схемы напряженного состояния ( $\sigma_p = \sigma_z = 0$ ).

$$\sigma_s = \sigma_{0,д} \cdot K_t \cdot K_\varepsilon \cdot K_u,$$

где  $\sigma_{0,д}$  – базисное значение сопротивления деформации;  $K_t$  – температурный коэффициент;  $K_\varepsilon$  – степенной коэффициент;  $K_u$  – скоростной коэффициент:

$$K_t = 0,57 + 0,0045(1200 - t_i) \sqrt{\frac{1200 - t_i}{t_i}};$$

$$K_\varepsilon = 0,47\sqrt{\varepsilon} - 0,045, \quad \text{їдї} \quad \varepsilon \leq 15\%; \quad K_u = 0,80 + 0,065\sqrt{u}, \quad \text{їдї} \quad u = 1 \dots 100 \tilde{n}^{-1}$$

$$K_\varepsilon = 0,82 + 0,082\sqrt{\varepsilon}, \quad \text{їдї} \quad \varepsilon > 15\%; \quad K_u = 0,80 + 0,085\sqrt{u}, \quad \text{їдї} \quad u = 100 \dots 300 \tilde{n}^{-1}$$

где  $t_i$  – температура заготовки на  $i$ -ом обороте,  $^{\circ}C$ .

Для определения  $t_i$  был проведен предварительный эксперимент по определению величины температуры нагрева. Данные эксперимента обрабатывались методикой линейного сглаживания по трем точка, результаты данной обработки представлены в виде графиков (рис. 4), анализ графиков позволил получить уравнения зависимости температуры заготовки от времени контакта заготовки с инструментом при различных частотах вращения заготовки:

✓ при частоте вращения 500 об/мин:  $t_i^0 = -0,8268 x^2 + 50,552 x - 31,533$ ;

✓ при частоте вращения 800 об/мин:  $t_i^0 = -1,0761 x^2 + 58,938x + 34,58$ ;

✓ при частоте вращения 1250 об/мин  $t_i^0 = 386,771 \ln(x) - 4,3771$ .

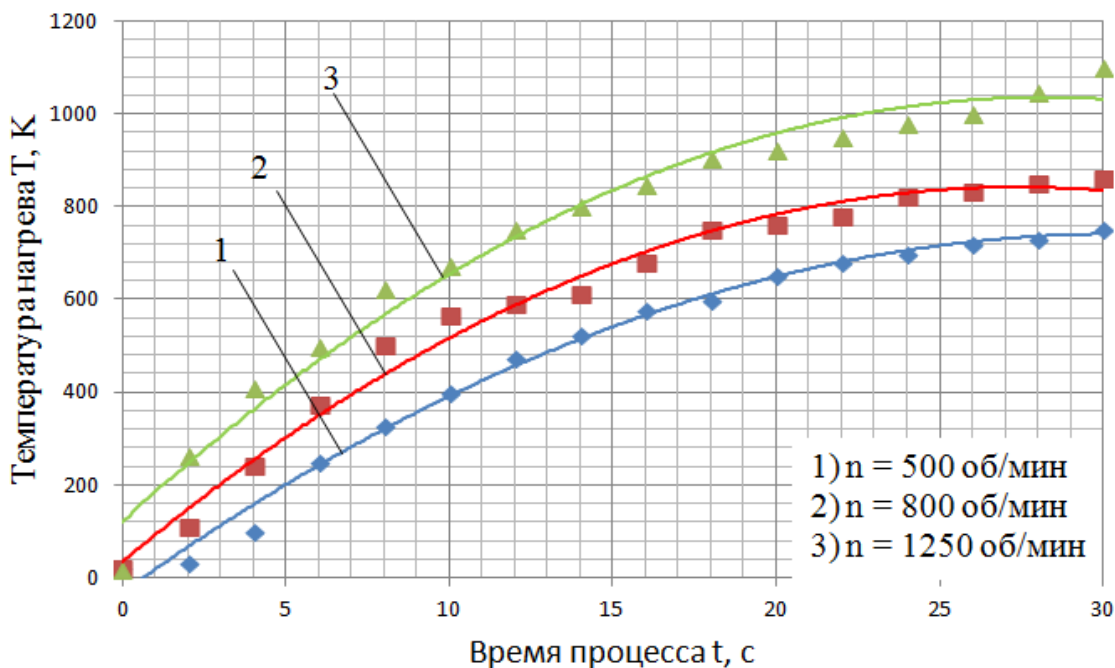


Рис. 4. Графіки залежності температури нагріву від часу контакту заготовки з інструментом при різних швидкостях обертання [8]

Коефіцієнт трия  $\mu$  при горячей обработке труб давлением зависит от температуры деформирования. [4]. Как известно [5], с ростом отношения  $S_0/D_0$  коэффициент трия убывает, а между температурой и коэффициентом трия зависимость нелинейная, но ее можно аппроксимировать до линейной в пределах выбранного температурного интервала. Для линейной модели коэффициент трия определим по формуле:

$$\mu = 0,274 + 0,03 \cdot \frac{t_i^0 C - 925}{125} - 0,0245 \cdot \frac{(S_0/D_0) - 0,21}{0,042}. \quad (17)$$

Результаты математического расчета представлены в виде графиков рис. 5.

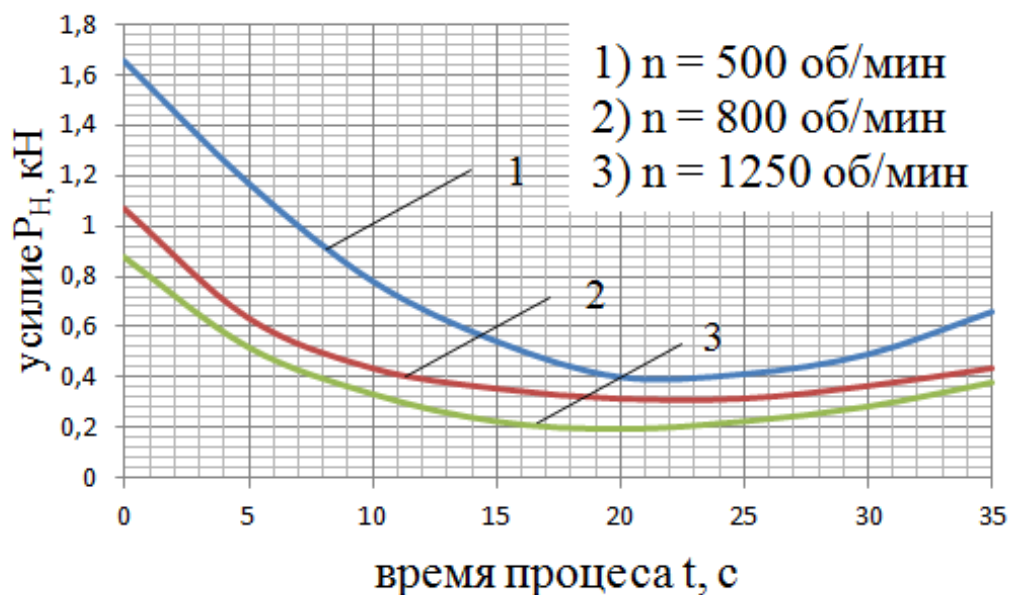


Рис. 5. Расчетные значения силы  $P_n$  при  $V_u = 4,33$  мм/с,  $S_0 = 6$  мм

Изучению процессов нагрева посвящено достаточно большое количество исследований. Кроме упомянутых выше, см. также [10–15]. Однако, принятые в них допущения не позволяют использовать результаты этих работ для анализа теплового состояния металла при обкатке инструментом трения.

Кроме того, практически все исследователи, исключая [16, 17], анализируют состояние заготовки при деформировании, предполагая предварительный нагрев деформируемого участка до ковочной температуры. Тем самым, значительная часть тепловой энергии, выделяемой при локальном деформировании, в результате поверхностного и внутреннего трения остается неучтенной. Задачей данного исследования мы видим учет этой тепловой энергии и использование ее на нагрев деформируемой части заготовки. При этом предварительный нагрев тем или иным способом производиться не будет, нагреваться заготовка должна исключительно за счет работы трения.

### ВЫВОДЫ

Учитывая результаты, полученные при расчете зависимости крутящего момента от наличия смазки, и результаты расчета силовых параметров показано, что величина крутящего момента обратно-пропорциональна силовым параметрам, возникающим при напряженно-деформированном состоянии, которое характерно для ротационной обкатки инструментом трения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пыц Я. Е. Актуальные вопросы производства толстостенных изделий из труб ротационной обкаткой инструментом трения. *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении* : темат. сб. науч. трудов. Краматорск, 2002. С. 290–292.
2. Капорович В. Г., Пыц Я. Е. Технологические особенности горячей обкатки толстостенных трубчатых заготовок. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1992. № 2. С. 4–6.
3. Роганов Л. Л., Середа В. Г., Пыц Я. Е., Чудненко О. О. Использование эффекта нагрева трением при обкатке трубчатых заготовок на роторной машине. *Обработка материалов давлением* : сборник научных трудов. Краматорск: ДГМА, 2008. № 1 (19). С. 207–211.
4. Капорович В. Г. Производство деталей из труб обкаткой. Москва: Машиностроение, 1978. 136 с.
5. Рыжиков В. С., Удовенко В. К., Середа В. Г., Афанасьева М. А., Бражник В. Я., Капорович В. В., Капорович С. В., Кулик А. Н., Маковецкий А. В., Макшанцев В. Г., Паламарчук В. А., Пыц Я. Е., Юдин В. И. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой: монография / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. Краматорск, ДГМА, 2006. 284 с. ISBN 966–379–067–9.
6. Пыц Я. Е., Оборнев С. Н. Современные методы и устройства для формообразования некруглых профилей из труб. *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*: тематич. збірн. науков. праць. Краматорськ, 2006. С. 340–345. ISBN 966–379–070–9.
7. Пыц Я. Е. Анализ условий ротационной обкатки толстостенных изделий из труб. *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении*: тематич. сборн. научн. трудов. Краматорск, 2001. С. 361–364.
8. Капорович В. Г. Обкатка в производстве металлоизделий. Москва: Машиностроение, 1973. 168 с.
9. Капорович В. Г. Обкатка в производстве металлоизделий. Москва: Машиностроение, 1978. 134 с.
10. Капорович В. Г., Паламарчук В. А. Определение работы полезного формоизменения при обкатке. Рукопись депонирована в УкрНИИТИ №120УК Д83, Библ.указ. ВИНТИ, Депонированные научные работы, 1983, № 7, реф. 720.
11. Пыц Я. Е., Макшанцев В. Г. Исследование нагрева трубчатых заготовок для ротационной обкатки инструментом трения. *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении*: тематич. сборн. научн. трудов. Краматорск–Славянск, 2000. С. 301–304.
12. Данченко Ю. В., Чус А. В., Тронь В. В. Определение коэффициента трения при горячей безоправочной прокатке труб. Деп. в инст–те Черметинформация 15.03.83, № 22374мд–83.

13. Pyts E. Ya., Aliiev I. S. Influence of Friction force on the thermal state of blank part in the process of rotational running. *Science, Technology and Higher Education* [Text]: materials of the international research and practice conference, Vol. II, Westwood, Desember 11th–12th ,2012 / publishing office Accent Graphics communications Westwood Canada, 2021/ 608 p. ISBN 978-1-927480-57-1
14. Тайц Н. Ю., Сабельников А. Г., Губинский В. И. Определение температуры металла в процессе деформации. *Известие вузов. Черная металлургия*. 1965. № 2. С. 156–160.
15. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. Москва: Металлургиздат, 1962. 567 с.
16. Пыц Я. Е., Пыц Е. Я. Тепловые процессы при обкатке. *Проблемы развития наукоемких и малоотходных процессов*. Краматорск, 1997. С. 22–23.

## REFERENCES

1. Pyts Ya.E. Topical issues of production of thick-walled products from pipes by rotary rolling with a friction tool. *Improvement of processes and equipment for pressure treatment in metallurgy and mechanical engineering: them. Sat. scientific. works*. Kramatorsk, 2002, pp. 290–292.
2. Kaporovich V.G., Pyts Ya.E. Technological features of hot running-in of thick-walled tubular blanks. *Forging and stamping production*. 1992. No. 2. P. 4–6.
3. Roganov L.L., Sereda V.G., Pyts Ya. E., Chudnenko O.O. Using the effect of friction heating when running tubular blanks on a rotary machine. *Processing of materials by pressure: collection of scientific works*. Kramatorsk: DSMA, 2008. No. 1 (19). S. 207-211.
4. Kaporovich V.G. Production of parts from pipes by running-in. Moscow: Mechanical Engineering, 1978.136 p.
5. Ryzhikov V.S., Udovenko V.K., Sereda V.G., Afanasyeva M. A., Brazhnik V.Ya., Kaporovich V.V., Kaporovich S.V., Kulik A.N., Makovetskiy A.V., Makshantsev V.G., Palamarchuk V.A., Pyts Ya.E., Yudin V.I. Production of mechanical engineering products by hot running: monograph / Ed. V. S. Ryzhikova, V. K. Udovenko. Kramatorsk, DSEA, 2006.284 p. ISBN 966-379-067-9.
6. Pyts Ya.E., Osbornev S.N Modern methods and devices for shaping non-circular profiles from pipes. *Adequate processes and possession of processing in a vice in metallurgy and mechanical engineering: subject-technical. zbirn. sciences. good*. Kramatorsk, 2006. S. 340–345. ISBN 966-379-070-9.
7. Pyts Ya.E Analysis of conditions for rotary rolling of thick-walled products from pipes. *Improvement of processes and equipment for pressure treatment in metallurgy and mechanical engineering: thematic. prefabricated scientific. works*. Kramatorsk, 2001, pp. 361–364.
8. Kaporovich V.G. Run-in in metalware production. Moscow: Mechanical engineering, 1973. 168 p.
9. Kaporovich V.G. Run-in in metalware production. Moscow: Mechanical engineering, 1978. 134 p.
10. Kaporovich V.G., Palamarchuk V.A. Determining the work of useful shaping during running-in The manuscript has been deposited in UkrNIITI No. 12OUK D83, Bibl.kaz. VINITI, Deposited scientific works, 1983, no. 7, ref. 720.
11. Pyts Ya.E., Makshantsev V.G. Research of heating of tubular blanks for rotational running with a friction tool. Improvement of processes and equipment for pressure treatment in metallurgy and mechanical engineering: thematic. prefabricated scientific. works. Kramatorsk – Slavyansk, 2000. P. 301–304.
12. Danchenko Yu.V., Chus A.V., Tron V.V. Determination of the coefficient of friction at hot bezopravochnoy rolling pipes. Dep. in inst-those Chermetinformatsiya 15.03.83, № 22374md-83.
13. Pyts E.Ya., Aliiev I.S. Influence of Friction force on the thermal state of blank part in the process of rotational running. *Science, Technology and Higher Education* [Text]: materials of the international research and practice conference, Vol. II, Westwood, Desember 11th – 12th, 2012 / publishing office Accent Graphics communications Westwood Canada, 2021/608 p. ISBN 978-1-927480-57-1
14. Taits N.Yu., Sabelnikov A.G., Gubinsky V.I. Determination of metal temperature in the process of deformation. *News of universities. Ferrous metallurgy*. 1965. No. 2. P. 156–160.
15. Taits N.Yu. Technology of heating steel. Moscow: Metallurgizdat, 1962. 567 p.
16. Pyts Ya.E., Pyts E.Ya. Thermal processes during running-in. *Development problems of science-intensive and low-waste processes*. Kramatorsk, 1997, pp. 22–23.

## АВТОРИ / АВТОРЫ / AUTORS

Пиц Я. Є. – канд. техн. наук, доц. ДДМА;

Пыц Я. Е. – канд. техн. наук. доц. ДГМА;

Pyts Ya. E. – candidate of technical science, associate professor DSEA.

E-mail: yarpyts@ ukr.net



Пиц Є. Я. – в. о. пров. констр. ТОВ «Гідрокран»;  
Пыц Е. Я. – исп. обяз. вед. конструктора ООО «Гидрокран»;  
Pyts E. Ya. – Acting Lead Designer Hydrocrane.  
E-mail: [evgenii\\_puc@mail.ru](mailto:evgenii_puc@mail.ru)

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ.  
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА), г. Краматорск.  
Donbass State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk.

ТОВ «Гідрокран», м. Львів.  
ООО «Гидрокран», г. Львов.  
Hydrocrane, Lviv.

#### АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ANNOTATION

**Пиц Я. Є., Пиц Є. Я. Аналіз впливу сил тертя та мастила на обертовий момент і силові параметри при ротаційній обкатці трубчастих заготовок. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2020. № 1 (48).**

Стаття присвячена особливостям ротаційної обробки осесиметричних деталей з труб ротаційної обкаткою. Досліджено процеси отримання різних елементів балонів, їх горловин і днищ. У процесі досліджень проаналізовані аналоги, наведені в джерелах відкритого доступу, зокрема вивчені ряд робіт авторів школи В. Г. Капоровича (ДДМА, м Краматорськ) та інших вчених, які працювали в даному напрямку. У роботі представлений аналіз впливу сил тертя, що виникають при ротаційному обкатуванні і наявності мастила на поверхні контакту інструмент – заготовка, на величину крутного моменту і силові параметри при ротаційній обкатки трубчастих заготовок. Наведено математичні залежності та графіки цього впливу. Так само досліджено фактори, що впливають на тепловий режим заготовки в процесі деформування, в тому числі з метою підтвердження можливості деформувати заготовку без попереднього нагріву, використовуючи генерацію тепла за рахунок роботи сил тертя на поверхні контакту заготовки та інструмента і внутрішнього тертя при деформації. В роботі наведені результати авторських досліджень і аналіз цих результатів. Крім того, наведені результати розрахунку величини сили обкатки від швидкості деформування і величини числа обертів заготовки при обкатці. Виконано аналіз залежності температури нагрівання заготовки від часу контакту заготовки з інструментом при різних швидкостях обертання останньої. Крім того проведено аналіз зміни крутного моменту при наявності і відсутності мастила на різних ділянках формозміни. Розрахункова модель, наведена в роботі, може бути застосована при врахуванні впливу генерації тепла при деформації заготовок ротаційної обкаткою без попереднього нагріву, з урахуванням генерації тепла при формозміни за рахунок внутрішнього тертя і тертя на ділянці контакту між заготовкою і інструментом. Результати, показані в роботі, можуть бути застосовані при проектуванні нових технологічних процесів ротаційної обкатки трубчастих заготовок інструментом тертя, розробці спеціального і модернізації існуючого обладнання для ротаційної обкатки трубчастих заготовок з метою отримання пустих осесиметричних деталей машин.

**Ключові слова:** ротаційна обкатка, інструмент тертя, генерація тепла, внутрішнє тертя, деформація, тепловий режим, попередній нагрів, поверхня контакту заготовки і інструменту, трубчаста заготовка, порожниста осесиметрична деталь, обертовий момент, силові параметри процесу.

**Пыц Я. Е., Пыц Е. Я. Анализ влияния сил трения и смазки на крутящий момент и силовые параметры при ротационной обкатке трубчатых заготовок. Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2020. № 1 (48).**

Настоящая статья посвящена особенностям ротационной обработки осесиметричных деталей из труб ротационной обкаткой. В частности исследованы процессы получения различных элементов баллонов, их горловин и днищ. В процессе исследований проанализированы аналоги, приведенные в источниках открытого доступа, в частности изучены ряд работ авторов школы В. Г. Капоровича (ДГМА, г. Краматорск) и других ученых, работавших в данном направлении. В работе представлен анализ влияния сил трения, возникающих при ротационном обкатывании и наличия смазки на поверхности контакта инструмент – заготовка на величину крутящего момента и силовые параметры при ротационной обкатке трубчатых заготовок. Приведены математические

зависимости и графики этого влияния. Так же исследованы факторы, влияющие на тепловой режим заготовки в процессе деформирования, в том числе с целью подтверждения возможности деформировать заготовку без предварительного нагрева, используя генерацию тепла за счет работы сил трения на поверхности контакта заготовки и инструмента и внутреннего трения при деформировании. В работе приведены результаты авторских исследований и анализ этих результатов. Кроме того приведены результаты расчета величины силы обкатки от скорости деформирования и величины числа оборотов заготовки при обкатке. Выполнен анализ зависимости температуры нагрева заготовки от времени контакта заготовки с инструментом при различных скоростях вращения последней. Кроме того проведен анализ изменения крутящего момента при наличии и отсутствии смазки на различных участках формоизменения. Расчетная модель, приведенная в работе, может быть применена при учете влияния генерации тепла при деформировании заготовок ротационной обкаткой без предварительного нагрева, с учетом генерации тепла при формоизменении за счет внутреннего трения и трения на участке контакта между заготовкой и инструментом. Результаты, показанные в работе, могут быть применены при проектировании новых технологических процессов ротационной обкатки трубчатых заготовок инструментом трения, разработке специального и модернизации существующего оборудования для ротационной обкатки трубчатых заготовок с целью получения пустотелых осесимметричных деталей машин.

**Ключевые слова:** ротационная обкатка, инструмент трения, генерация тепла, внутреннее трение, деформация, тепловой режим, предварительный нагрев, поверхность контакта заготовки и инструмента, трубчатая заготовка, полая осесимметричная деталь, крутящий момент, силовые параметры процесса.

**Pyts Ya. E., Pyts E. Ya. Analysis of the influence of friction and lubrication forces on torque and power parameters during rotary break-in of tubular billets. *Herald of the DSEA*. 2020. № 1 (48).**

This article is devoted to the peculiarities of rotational processing of axisymmetric parts from pipes by rotational rolling. In particular, the processes of obtaining various elements of cylinders, their necks and bottoms were investigated. In the process of research, the analogues cited in open access sources were analyzed, in particular, a number of works by the authors of the school V.G. Kaporovich (DGMA, Kramatorsk) and other scientists who worked in this direction. The paper presents an analysis of the effect of friction forces arising during rotational rolling and the presence of lubricant on the tool-workpiece contact surface on the magnitude of torque and power parameters during rotational rolling of tubular billets. Mathematical dependencies and graphs of this effect are given. The factors affecting the thermal regime of the workpiece during deformation were also investigated, including with the aim of confirming the ability to deform the workpiece without preheating using heat generation due to the work of friction on the contact surface of the workpiece and tool and internal friction during deformation. The results are presented copyright research and analysis of these results. In addition, the results of calculating the value of the break-in force on the strain rate and the value of the number of revolutions of the workpiece during the run-in are presented. An analysis is made of the dependence of the heating temperature of the workpiece on the contact time of the workpiece with the tool at various speeds of rotation of the latter. In addition, an analysis is made of the change in torque in the presence and absence of lubrication in various sections of the forming. The calculation model presented in the work can be applied when taking into account the influence of heat generation during deformation of workpieces by rotational run-in without preliminary heating, taking into account heat generation during shaping due to internal friction and friction in the contact area between the workpiece and the tool. The results shown in the work can be applied in the design of new technological processes for rotational rolling of tubular billets with a friction tool, the development of special and modernization of existing equipment for rotational rolling of tubular billets in order to obtain hollow axisymmetric machine parts.

**Keywords:** rotational break-in, friction tool, heat generation, internal friction, deformation, heat mode, preliminary heating, surface contact surface and instrument, treatment will be termally resulted.

*Стаття надійшла до редакції 11.07.2019 р.*