

стана 2000 / Скобло Т. С., Автухов А. К., Соколов Р. Г. // Материали за ІХ міжнародна научна практична конференція. Научний потенціал на світа 2013. Том 20. Технології. Софія «Бял ГРАД-БГ» ООД 2013. – С. 13–27. **10.** Патент UA №101535 B21B31/00, B21B21/00. Спосіб комплектування прокатних валків / Скобло Т. С. Автухов А. К., Сідашенко О. І., та ін. Оуб.25.09.2015, Бюл. № 18.

Bibliography (transliterated): 1. Prikhod'ko V.P. Problemy ekspluatatsii valkov prokatnykh stanov / V.P. Prikhod'ko// Prokatnoye proizvodstvo. – 1985. – N 8. – P.45–47. 2. Proizvodstvo i primeneniye prokatnykh valkov: Spravochnik/ T. S. Skoblo, A. I. Sidashenko, N. M. Aleksandrova i dr., pod red. T. S. Skoblo. – Kharkov: TSD N1, 2013. – 572 p. (p. 531). 3. Bida V. G. Koertsimetriya v nerazrushayushchem kontrole / V. G. Bidga, A. P. Nichipuruk // Defektoskopiya. – 2000. – N10. – P. 3–27. 4. Matyuk V. F. Kontrol' struktury, mekhanicheskikh svoystv i napryazhennogo sostoyaniya ferromagnitnykh izdeliy metodom koertsimetrii / V. F. Matyuk, V. N. Kulagin// Nauka. Seriya. Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika. 2010. – N3. – P. 4–14. 5. Bezlyud'ko G. YA. Otsenka tekushchego sostoyaniya i ostatochnogo resursa prokatnykh valkov na osnove magnitnogo (po koertsitivnoy sile) metoda nerazrushayushchego kontrolya/G. YA. Bezlyud'ko, V. F. Muzhitskiy, L. A. Krutikova i dr.//Defektoskopiya. – 2002. – N4. – P. 3–9. 6. <http://www.gta.ru>. Murikov S. Robotizirovanny kompleks magnitnoy diagnostiki prokatnykh valkov / S. Murikov, I. Artem'yev, V. Urtsev, A. Kudreshov i dr.//Sovremennyye tekhnologii i avtomatizatsii (kontrol'no izmeritel'nyye sistemy). – 2010. – N3. – P. 60–67. 7. Valki dlya metalloprokatnykh stanov iz chugunного lit'ya. TU U 27.1-26524137-1291-2007. 8. Skoblo T. S. Analiz ekspluatatsionnoy stoykosti dvukhsloynnykh chugunnykh valkov / Skoblo T. S., Atukhov A. K., Sokolov R. G.//Stal' – 2015. – N2. – P. 34–37. 9. Skoblo T. S. Opyt ekspluatatsii rabochikh valkov stana 2000 /Skoblo T. S., Avtuhov A. K., Sokolov R. G. // Materiali za IKH mezhdunarolna nauchna praktichna konferentsiya. Nauchniyat potetsial na sveta 2013. Vol. 20. Tekhnologii. Sofiya «Byal GRAD-BG» OOD 2013. – P. 13–27. 10. Patent UA №101535 V21V31/00, V21V21/00. Sposib komplektuvannya prokatnykh valkov /Skoblo T. S. Avtuhov A. K., Sidashenko O. I., ta in. Opub.25.09.2015, Byul. N18.

Поступила (received) 05.10.2015

УДК 621.73.06–52

И. С. АЛИЕВ, докт. техн. наук. проф. ДГМА;

Е. Я. ПЫЦ, аспирант, ДГМА;

Я. Е. ПЫЦ, канд. техн. наук. доц., ДГМА, Краматорск

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ФРИКЦИОННОМ НАГРЕВЕ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОЛУЧЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

Деформирование трубчатой заготовки инструментом трения – процесс, для которого характерна локализация пластической деформации, величина зоны влияния которой значительно меньше величины деформируемой части заготовки. При таком процессе зона деформации постоянно перемещается вдоль поверхности трубы, симметричная форма поперечного сечения которой в процессе деформирования не сохраняется. Приведен анализ площади контакта инструмента с заготовкой, приведены факторы, влияющие на усилие обкатки, а также определены основные составляющие усилия обкатки. Проведен математический расчет основных составляющих усилия обкатки и определен характер распределения усилия обкатки по времени. Представлены графические зависимости усилия обкатки от времени при различных комбинациях факторов, влияющих на обкатку. Проведен анализ микроструктуры заготовок при фрикционном нагреве и сравнение полученных данных с результатом микроанализа заготовки, нагреваемой при помощи индукционного нагрева.

© И. С. Алиев, Е. Я. Пыц, Я. Е. Пыц, 2015

Ключевые слова: ротационная обкатка, усилие обкатки, локальная деформация, зона контакта, сила трения, фрикционный нагрев, микроструктура заготовки.

Введение. Современные технологии обработки материалов в машиностроении развиваются в направлении, связанном с решением проблем повышения производительности, качества и эффективности труда, уменьшения расхода материалов и энергии, повышения качества выпускаемых деталей, сокращения их себестоимости. Решение этих проблем невозможно без применения прогрессивных ресурсосберегающих способов обработки материалов давлением. К таким способам следует отнести технологию ротационной обкатки полых изделий фрикционным инструментом.

Постановка задачи. Деформирование трубчатой заготовки фрикционным инструментом трения – достаточно сложный и неустановившийся процесс, для которого характерна локализация пластической деформации, величина зоны которой значительно меньше величины 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.

При ротационной обкатке возможны следующие случаи нагрева заготовки перед деформированием: предварительный нагрев деформируемого участка и нагрев за счет сил внутреннего трения и трения на поверхности контакта «инструмент–заготовка».

В случае предварительного нагрева чаще всего используют индукционный нагрев в кольцевом индукторе ТВЧ с 2,4 кГц [1, 2],

Цель настоящей работы состоит в анализе силовых факторов, теплового поля заготовки при фрикционном нагреве за счет силы трения и влияния температуры трения на силу деформирования при ротационной обкатке, а также проведение сравнительного анализа микроструктуры изделий из труб, получаемых ротационной обкаткой с предварительным нагревом и изделий, полученных без предварительного нагрева с фрикционным нагревом за счет сил трения.

Изложение основных материалов исследования. Для деформирования заготовок без предварительного нагрева был разработан способ фрикционного нагрева за счет сил трения. Данный способ заключается в следующем.

Заготовку, которая вращается с заданной частотой, подают к фрикционному инструменту, в процессе контакта между заготовкой и инструментом возникает сила трения, тепловой эффект от работы которой приводит к нагреву заготовки. При дальнейшем прохождении по технологическому пространству заготовка деформируется в переходную форму – конус, после чего заготовка сразу попадает в технологическое пространство деформирующего инструмента, где она продолжает нагреваться за счет сил трения и деформации принимает заданную форму.

Таким образом, для нагрева заготовки перед деформированием обеспечивается использование тепла, которое выделяется при работе сил трения, что позволяет уменьшить энергетические затраты и расширить номенклатуру получаемых изделий за счет предоставления возможности производить более сложные формы изделий, например, удлинения горловины и переходы.

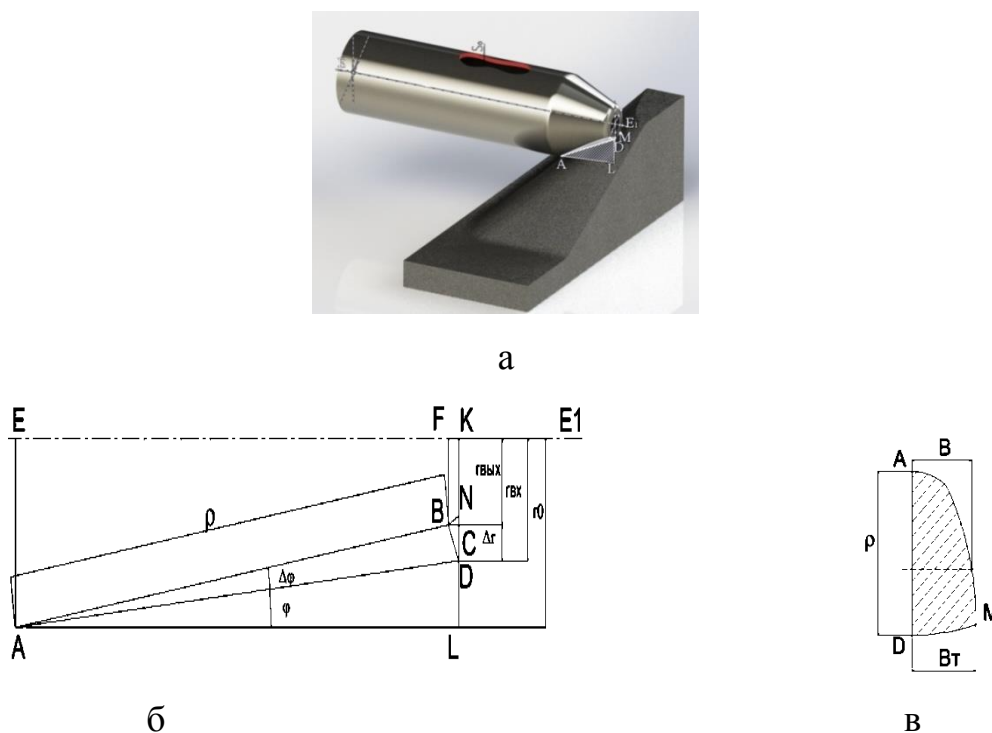


Рис. 1 – Геометрические параметры очага деформации: а – схема очага деформации; б – схема для расчета Δr , r_{BX} , r_{BYX} ; в – схема площади контакта

Для достижения поставленной цели вначале необходимо проанализировать геометрию очага деформации, схема которого представлена на рис. 1, на котором приняты следующие обозначения: EE_1 – ось вращения заготовки; AD – длина образующей в процессе обкатки ($AD = \rho$); $KD = r_{BX}$ – радиус входа заготовки в очаг деформации; $FB = r_{BbIX}$ – 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 BSC следует:

$$F = \sqrt{L_T^2 + \rho^2 - B_T^2} \quad (1)$$

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 зависимости [3]:

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

Длина поверхности контакта по торцу заготовки определяется из формулы:

$$L_T = \frac{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta \varphi \cdot \cos \varphi \cdot (r_0 - \rho \cdot \sin \varphi)} \cdot \alpha}{360} \quad (3)$$

Расчетная площадь поверхности контакта между заготовкой и деформирующим инструментом имеет вид [2]:

$$F = \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta \varphi \cdot \cos \varphi \cdot (r_0 - \rho \cdot \sin \varphi)} \cdot \alpha}{360}\right)^2 + \rho^2 - \left(2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\alpha}{360}\right)^2} \quad (4)$$

Расчет усилий деформирования выполняется по аналогии с методикой расчета работ ротационной обкатки, предложенной в [3].

При локальном деформировании сила обкатки включает в себя:

$$P_H = P_D + P_T, \quad (5)$$

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

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_ε – степенной коэффициент; K_u – скоростной коэффициент:

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

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

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

где t_i – температура заготовки на i -ом обороте, °С.

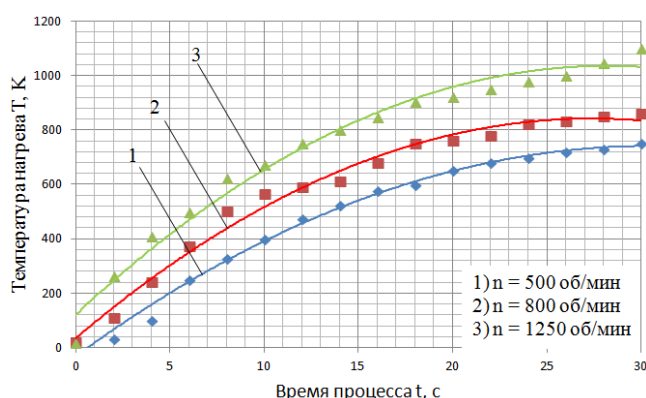


Рис. 2 – Графики зависимости температуры нагрева от времени контакта заготовки с инструментом при различных скоростях вращения [8]

Для определения t_i был проведен предварительный эксперимент по определению величины температуры нагрева. Данные эксперимента обрабатывались методикой линейного сглаживания по трем точкам, результаты данной обработки представлены в виде графиков (рис. 2), 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 $t_i^0 = 386,77 \ln(x) - 4,3771$.

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

$$\mu = 0,274 + 0,03 \cdot \frac{t_i^0 C - 925}{125} - 0,0245 \cdot \frac{(S_0/D_0) - 0,21}{0,042} \quad (6)$$

Результаты математического расчета представлены в виде графиков рис. 3, 4.

Изучению процессов нагрева посвящено достаточно большое количество исследований [9–15]. 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] 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. Задачу данного исследования мы видим в учете этой тепловой энергии и использовании ее для нагрева деформируемой части заготовки. При этом предварительный нагрев иным способом производится не будет, нагреваться заготовка должна исключительно за счет работы трения.

Тепловые процессы, происходящие в заготовке с момента начала контакта заготовки с инструментом до окончания обкатки, зависят от конвективного, контактного и лучистого теплообмена обкатываемой части заготовки с окружающей средой и недеформируемой частью заготовки.

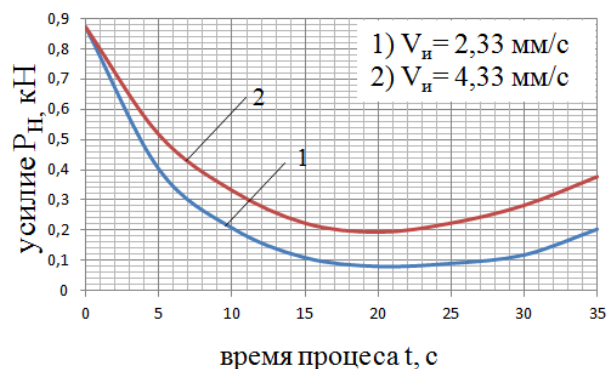


Рис. 3 – Расчетные значения усилий при $n=1250$ об/мин, $S_0=6$ мм

Потери тепла происходят вследствие излучения и конвекции в окружающую среду, контактного теплообмена с инструментом и теплопередачи от нагретой к не нагретой части заготовки [17].

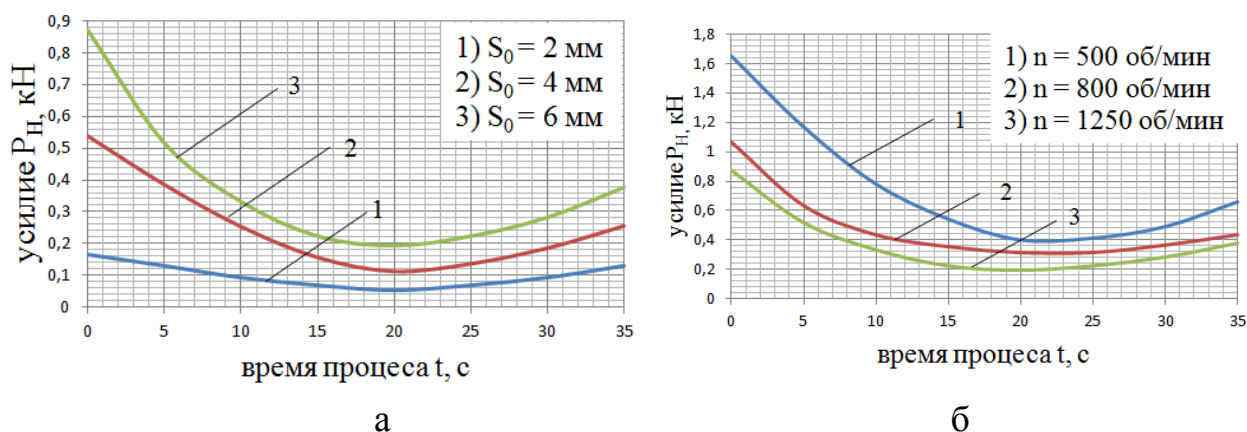


Рис. 4 – Расчетные значения силы P_H : а – $V_H=4,33$ мм/с, $n=1250$ об/мин; б – $V_H=4,33$ мм/с, $S_0=6$ мм

Повышение температуры заготовки осуществляется за счет генерации тепла в результате работы, затрачиваемой на деформацию и трение между заготовкой и инструментом. Причем, на этапе обкатки потери и генерация тепла происходят одновременно [18].

Таким образом, уравнение температурного баланса запишем в виде [19]:

$$T^{i+1} = T^i - \Delta T_n^i + \Delta T_z^i \quad (7)$$

где T^i – температура заготовки в начале i -го оборота, К,

T^{i+1} – температура заготовки в конце i -го оборота, К,

ΔT_n^i – потери тепла в течение i -го оборота, К,

ΔT_z^i – генерация тепла в течение i -го оборота.

Анализ выражений (7) показывает, что для определения теплового состояния металла в ходе обработки обкаткой необходимо определить потери тепла за время процесса $\Delta T_{\text{п}}$ и выяснить, какая часть энергии, затрачиваемой на деформацию трубы и преодоление контактного трения превращается в тепло и, следовательно, оказывает влияние на тепловое состояние металла в очаге деформации. Следует выяснить, как зависит генерация тепла $\Delta T_{\text{Г}}$ от времени процесса и определить функцию распределения температуры по толщине стенки трубы. Изменение температуры заготовки, вызванное каждым из слагаемых вычислим независимо друг от друга.

При расчете изменений температуры за сравнительно малые временные интервалы, значение коэффициента $\alpha_{\text{и}}$ и $\alpha_{\text{к}}$ можно рассчитывать по формуле, предложенной в работе [11].

Условия обкатки таковы, что точка поверхности вращающейся заготовки движется относительно среды со скоростью 2–10 м/с. Это обстоятельство говорит о том, что происходит вынужденный конвективный теплообмен.

Результаты расчета представлены в виде графических зависимостей рис. 5.

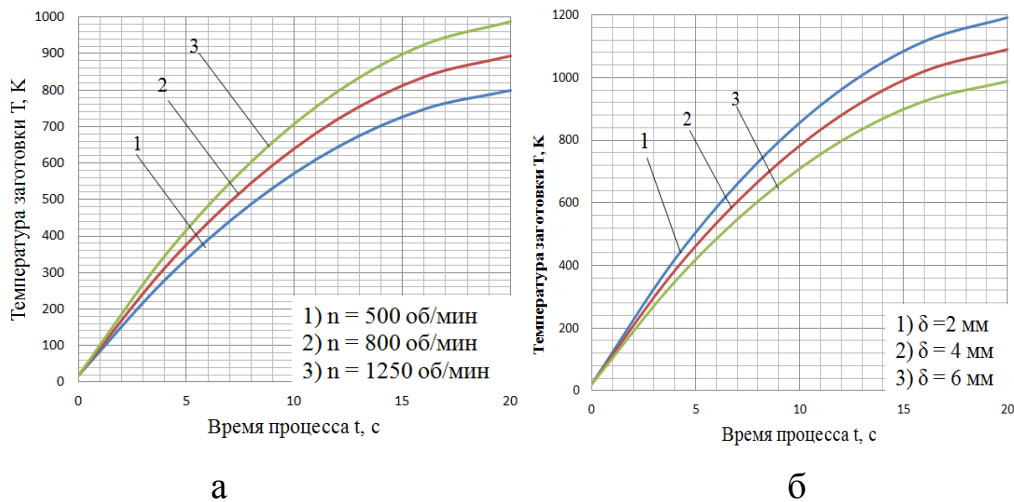


Рис 5 – Расчетные значения роста температуры по времени при:
а – $V_{\text{и}} = 4,33$ мм/с, $\delta = 6$ мм; б – $V_{\text{и}} = 4,33$ мм/с, $n = 1250$ об/мин;

Для подтверждения адекватности математической модели были проведены эксперименты по определению влияния фрикционного нагрева за счет сил трения на нагрев и усилия, затрачиваемые на локальное деформирование трубчатой заготовки.

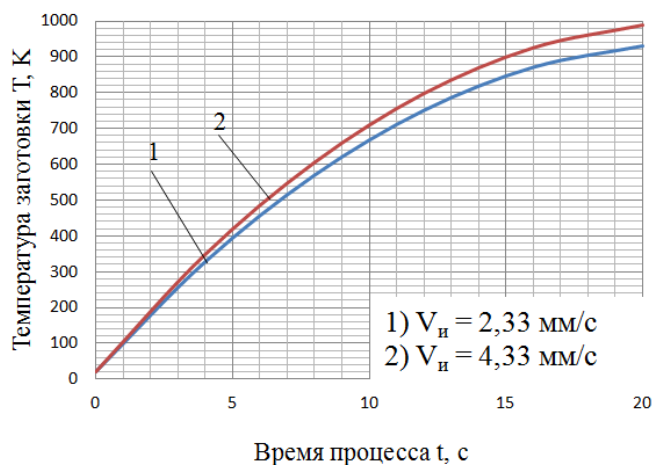


Рис 6 – Расчетные значения роста температуры по времени при:
 $\delta = 6$ мм, $n = 1250$ об/мин

Для проведения экспериментальных исследований использовался токарный станок типа «1А625Сп», на который был установлен универсальный динамометр УДМ–600, оснащенный усилителем «ГА–5». В качестве заготовок использовались трубы диаметром $\varnothing 40$ мм и толщиной стенки $\delta = 2$ мм, 4 мм, 6 мм.

В УДМ закреплялся инструмент переменного профиля (рис 7, а), на выходе из которого заготовка приобретала конечную форму конус (рис 7, б).



а

б

Рис. 7 – Экспериментальные исследования: а – инструмент переменного профиля, б – вид заготовок после обкатки

Результаты эксперимента были обработаны в программной среде Excel и представлены в виде графиков зависимостей распределения усилий и температурного поля во времени/

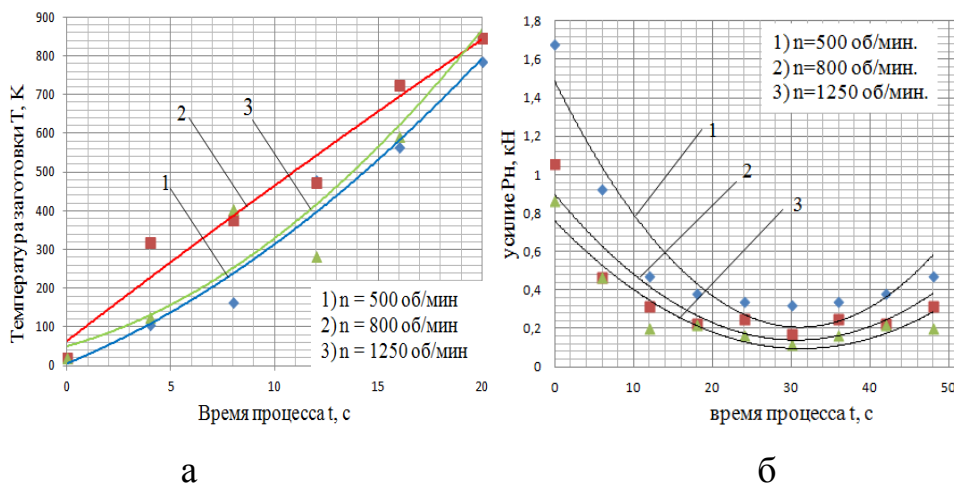


Рис. 8 – Экспериментальные значения: а – изменение температуры и б – изменение усилий при $V_{и} = 4,33$ мм/с, $\delta = 6$ мм

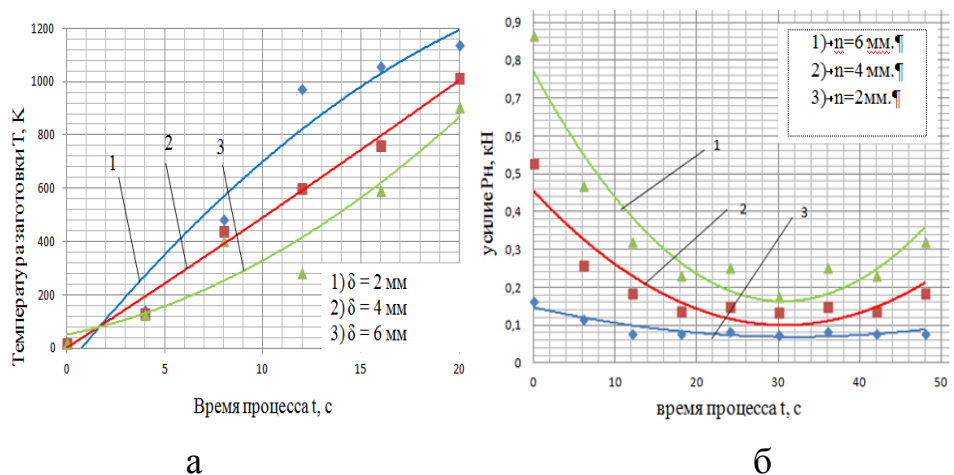


Рис 9 – Экспериментальные значения: а – изменение температуры и б – изменение усилий при $V_{и} = 4,33$ мм/с, $n = 1250$ об/мин

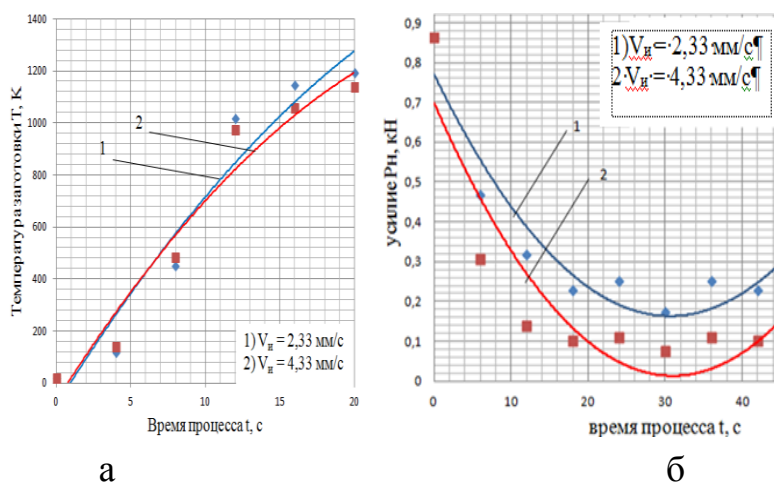


Рис. 10 – Экспериментальные значения а – изменение температуры и б – изменение усилий при $\delta = 6$ мм, $n = 1250$ об/мин

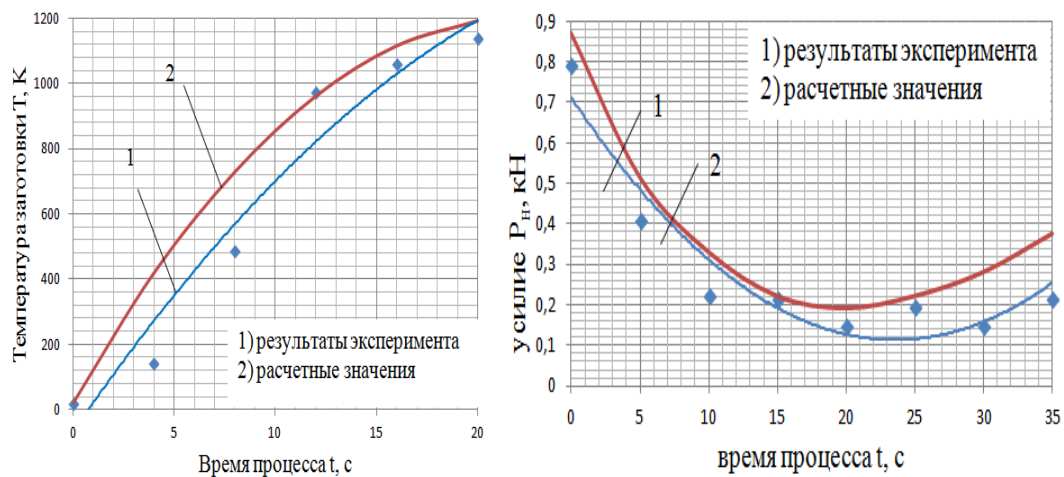


Рис. 11 – Сравнительный график результатов эксперимента с расчетными данными

Для решения задачи по сравнению микроструктуры полученных изделий исследовались образцы исходной трубной заготовки из стали 20, Ø40 мм и толщиной стенки $\delta = 6$ мм. Образцы обработали в соответствии со стандартной методикой, микроструктура представлена на фотоснимках (рис. 12).

Для сравнительного анализа фотоснимки были обработаны в программной среде «Image Expert Pro» (рис. 13), которая позволяет определять максимальный и минимальный размер зерна и его вытянутость.

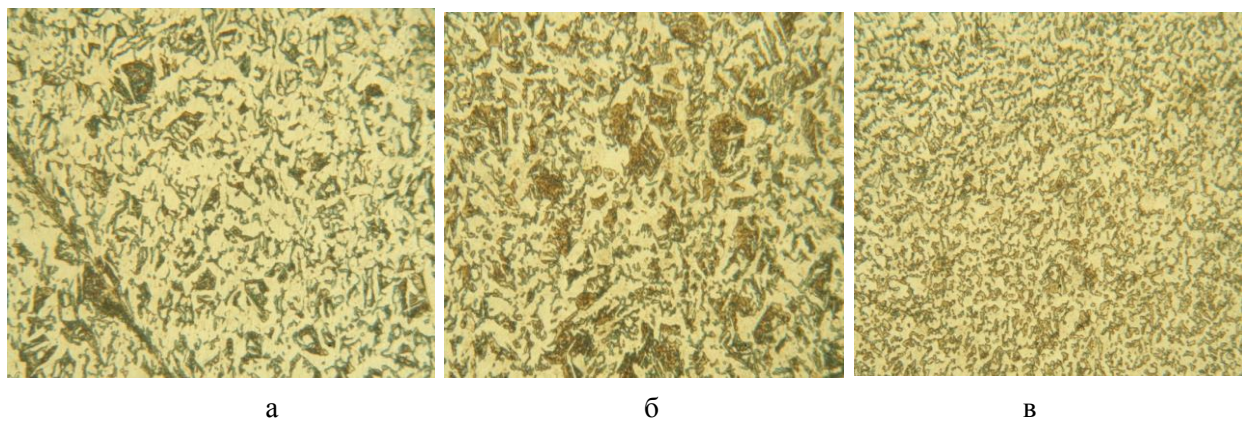


Рис. 12 – Фотоснимок микроструктуры: а – начальная заготовка; б – деформированная часть заготовки при предварительном нагреве заготовки; в – деформированная часть заготовки при фрикционном нагреве заготовки за счет сил трения

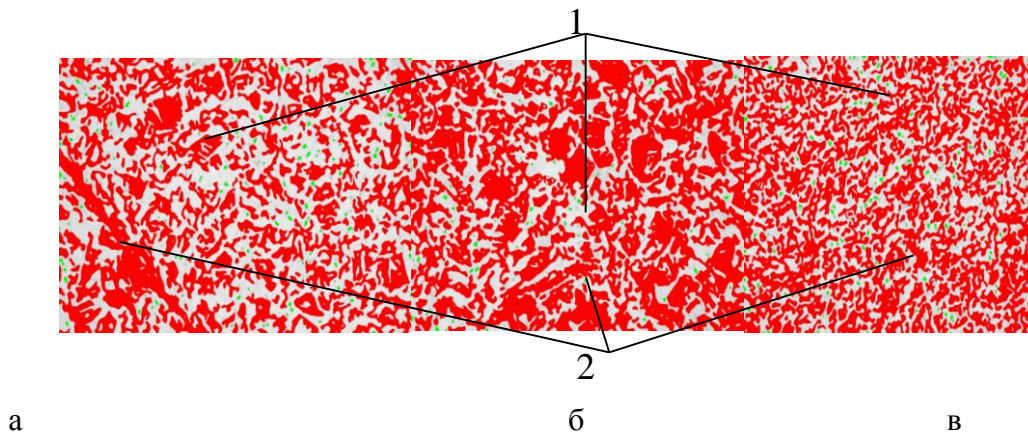


Рис. 13 – Графические результаты обработки фотоснимков микроструктуры: а – начальная заготовка; б – деформированная часть заготовки при ее предварительном нагреве; в – деформированная часть заготовки при ее фрикционном нагреве за счет сил трения (1 – феррит; 2 – перлит)

Выводы: В процессе локального деформирования при фрикционном нагреве полых и сплошных заготовок происходит увеличение температуры деформируемой части заготовки за счет сил трения. Интенсивность генерируемого работой трения теплового потока достаточно велика 800–1000°C для совмещения процессов нагрева и локального деформирования заготовки.

Численная реализация модели расчета теплового поля позволила определить время нагрева заготовки до температуры пластического деформирования без принудительного нагрева 15–20 с, характер изменения температурного поля во времени.

Численная реализация методики расчета усилий поля позволила определить характер распределения усилий процесса по времени, определить максимальные усилия, необходимые для проведения процесса локального деформирования, что позволило выбрать подходящее оборудование для проведения экспериментов по определению усилий локального деформирования.

Проведение натурного эксперимента по фрикционной формовке конуса на конце полых заготовок Ø40 мм и толщиной стенки 2, 4, 6 мм без предварительного нагрева позволило подтвердить адекватность принятых схем расчета.

При анализе микроструктуры исходной заготовки и заготовок, получаемых при ротационной обкатке трубы по базовой технологии с

индукционным нагревом и по технологии ротационной обкатки с нагревом за счет сил трения, были выявлены следующие различия.

В деталях, получаемых после деформирования с предварительным нагревом, суммарная площадь, занимаемая перлитом, увеличивается по сравнению с начальной структурой, зерна перлита имеют значительное увеличение размера.

В случае использования предложенного способа ротационной обкатки заготовки с использованием фрикционного нагрева за счет сил трения, явно выражена более равномерная и мелкозернистая структура даже в сравнении с исходной заготовкой, что повышает механические свойства изделий.

Список литературы: 1. Капарович В.Г. Обкатка в производстве металлоизделий / В. Г. Капарович – М.: Машиностроение, 1978. – 134 с; 2. Капарович В.Г. Обкатка в производстве металлоизделий./В. Г. Капарович // – М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.; 3. Производство изделий Машиностроения горячей обкаткой: монография /В. С. Рыжиков [и др.] // – Краматорск: ДГМА, 2006. – 284 с. – ISBN966-379-067-9; 4. Пыц Я.Е Анализ условий ротационной обкатки толстостенных изделий из труб /Я. Е. Пыц // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Тематич. сборн. научн. трудов – Краматорск, 2001. С.361–364.3; 5. Капарович В.Г., Определение работы полезного формоизменения при обкатке./В. Г. Капарович, В. А. Паламарчук // Рукопись депонирована в УкрНИИТИ №12ОУК – Д83, Библ.указ. ВИНТИ, Депонированные научные работы, 1983, № 7, реф. 720.; 6. Пыц Я.Е Исследование нагрева трубчатых заготовок для ротационной обкатки инструментом трения / Я. Е. Пыц, В. Г Маркшанцев //Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Тематич. сборн. научн. трудов – Краматорск–Славянск, 2000. С.301–304.; 7. Данченко Ю.В Определение коэффициента трения при горячей безопрывочной прокатке труб / А. В. Чус, В. В. Тронь, О. В. Данченко // Деп. в инст-те Черметинформация 15.03.83, № 22374мд–83.; 8. Pyts E.Ya., Influence of Friction force on the thermal state of blank part in the process of rotational running/ E.Ya.Pyts, I.S.Aliev // 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; 9. Тайц Н.Ю. Определение температуры металла в процессе деформации/ Н.Ю.Тайц, А.Г.Сабельников, В.И.Губинский // Известие вузов. Черная металлургия. – 1965. – № 2. – С.156–160.; 10. Тайц Н.Ю. Технология нагрева стали. – М.: Металлургиздат, 1962. – 567 с.; 11. Коновалов Ю.В. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник /, А.Л.Остапенко, В.И.Пономарев.// – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.; 12.Теория прокатки: Справочник / Под ред. В.И.Зюзина, Л.В.Третьякова. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.;13. Гелеи Ш. Расчеты усилий и энергии при пластической деформации металла. / Ш.Гелеи // – М.: Металлургиздат, 1958. – 420 с.; 14. Зайков М.А. Режимы деформаций и усилия при горячей прокатке./М.А.Зайков // – М.: Металлургиздат, 1960. – 302 с.; 15. В.Ф.Ураков Температурный эффект пластической деформации при резке металла // Машины и технология обработки металлов давлением: Сб.научн.трудов – М.: МВТУ им. Баумана, 1967. – С.21–22.; 16. Лебедев В.К., Сварка трением:Справочник /В.К. Лебедев [и др.] // – Л. Машиностроение. Ленингр.отд.ние, 1987. – 236 с.; 17. Об учете тепловых потерь при обкатке толстостенных трубчатых заготовок/ Я.Е.Пыц, С.Н.Оборнев // Совершенствование процессов и машин обработки металлов давлением: Сб.научн.трудов. – К.: УМК ВО, 1988. – С. 96-101.; 18. Пыц Я.Е Тепловые процессы при обкатке/Е.Я. Пыц // Проблемы развития наукоемких и малоотходных процессов. – Краматорск, 1997. – С.22-23.; 19. Капарович В.Г., Деформирование толстостенных трубчатых заготовок инструментом трения /В.Г. Капарович, Я.Е.Пыц // Библ. указатель ВИНТИ № 1,1986, депонирована 20.12.86 № 1744 ТМ. Деп. реф. N 183.

Bibliography (transliterated): 1. Kaporovich V.G. Obkatka v proizvodstve metalloizdelij / V. G. Kaparovich // – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 134 p.; 2. Kaporovich V.G. Obkatka v proizvodstve metalloizdelij / V. G. Kaparovich // – Moscow: Mashinostroenie, 1973. – 168 p.; 3. Proizvodstvo izdelij Mashinostroenija gorjachej obkatkoj: monografija /V. S. Ryzhikov [i dr.] // – Kramatorsk: DGMA, 2006. – 284 p. – ISBN966–379–067–9; 4. Pyc Ja.E Analiz uslovij rotacionnoj obkatki tolstostennyh izdelij iz trub /Ja. E. Pyc // Sovershenstvovanie processov i oborudovanija obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: Tematic. sborn. nauchn. trudov – Kramatorsk, 2001. P. 361–364.3; 5. Kaporovich V.G., Opredelenie raboty poleznogo formoizmenenija pri obkatke / /V. G. Kaparovich, V. A. Palamarchuk // Rukopis' deponirovana v UkrNIITI №12OUK – D83, Bibl.ukaz. VINITI, Deponirovannye nauchnye raboty, 1983, No 7, ref. 720.; 6. Pyc Ja.E Issledovanie nagreva trubchatyh zagotovok dlja rotacionnoj obkatki instrumentom trenija / Ja. E. Pyc, V. G Markshancev //Sovershenstvovanie processov i oborudovanija obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: Tematic. sborn. nauchn. trudov – Kramatorsk–Slavjansk, 2000. P. 301–304.; 7. Danchenko Ju.V Opredelenie koeficienta trenija pri gorjachej bezopravochnoj prokatke trub / A. V. Chus, V. V. Tron', O. V. Danchenko // Dep. v inst–te Chermetininformacija 15.03.83, No 22374md–83.; 8. Pyts E.Ya., Influence of Friction force on the thermal state of blank part in the process of rotational running/ E.Ya.Pyts, I.S.Aliev // 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; 9. Tajc N.Ju. Opredelenie temperatury metalla v processe deformacii/ N.Ju.Tajc, A.G.Sabel'nikov, V.I.Gubinskij // Izvestie vuzov. Chernaja metallurgija. – 1965. – No 2. – P. 156–160.; 10. Tajc N.Ju. Tehnologija nagreva stali. – Moscow: Metallurgizdat, 1962. – 567 p.; 11. Konovalov Ju.V. Raschet parametrov listovoj prokatki: Spravochnik /, A.L.Ostapenko, V.I.Ponomarev.// – Moscow Metallurgija, 1986. – 430 p.; 12. Teorija prokatki: Spravochnik / Pod red. V.I.Zjuzina, L.V.Tret'jakova. – Moscow: Metallurgija, 1982. – 335 p.; 13. Gelei Sh. Raschety usilij i jenergii pri plasticheskoj deformacii metalla. / Sh.Gelei // – Moscow: Metallurgizdat, 1958. – 420 p.; 14. Zajkov M.A. Rezhimy deformacij i usilija pri gorjachej prokatke / M.A.Zajkov // – Moscow: Metallurgizdat, 1960. – 302 p.; 15. V.F.Urakov Temperaturnyj jeffekt plasticheskoj deformacii pri rezke metalla // Mashiny i tehnologija obrabotki metallov davleniem: Sb.nauchn.trudov – Moscow: MVTU im. Baumana, 1967. – P. 21–22.; 16. Lebedev V.K., Svarka treniem:Spravochnik /V.K. Lebedev [i dr.] // – Lenindrad. Mashinostroenie. Leningr.otd.nie, 1987. – 236 p.; 17. Ob uchete teplovyh poter' pri obkatke tolstostennyh trubchatyh zagotovok/ Ja.E.Pyc, S.N.Obornev // Sovershenstvovanie processov i mashin obrabotki metallov davleniem: Sb.nauchn.trudov.- Kyeв: UMK VO, 1988. – P. 96–101.; 18. Pyc Ja.E Teplovye processy pri obkatke/E.Ja. Pyc // Problemy razvitija naukoemkih i maloethodnyh processov. – Kramatorsk, 1997. – P. 22–23.; 19. Kaporovich V.G., Deformirovanie tolstostennyh trubchatyh zagotovok instrumentom trenija /V.G. Kaparovich, Ja.E.Pyc // Bibl. ukazatel' VINITI No 1, 1986, deponirovana 20.12.86 No 1744 TM. Dep. ref. N 183.

Поступила (received) 05.10.2015

УДК 621.777.01

Л. И. АЛИЕВА, канд. техн. наук, доц., ДГМА;

Н. С. ГРУДКИНА, канд. техн. наук, ст. преподаватель, ДГМА, Краматорск

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ МОДУЛЬНОГО ПОДХОДА В РАМКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Рассмотрены этапы проектирования технологических процессов холодного выдавливания, предусматривающие системный подход и имитационное моделирование процессов поэтапного формообразования. Предложены базы кинематических модулей и моделей, расширяющие

© Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, 2015