

Вывод: корректировка функции управляющего воздействия $f(nW)$ АСУ ТП в виде выражения (4) может обеспечить повышение эффективности управляющих возможностей АСУ ТП за счет целенаправленной реализации технологических возможностей оптимизации энергопотребления полосового прокатного стана в режиме непосредственного автоматизированного управления.

Список литературы: 1. Гладчук Е.А. Многоуровневое прогнозирование параметров технической системы дискретного действия на примере прокатного стана. В. сб. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2003. Вып. 25. – С. 77 – 81. 2. Гладчук Е.А., Анализ переходного процесса в клети 2000//Производство проката – 2003.- № 4. – С. 31- 34. 3. Горелик В.С., Клименко И.В. Классификация и анализ процессов листовой прокатки с асимметричным очагом деформации// Металлы. – 1997. - № 3. – С. 38 – 48. 4. Гладчук Е.А. Возможности управления геометрией и механическими свойствами толстого раската в общем случае процесса прокатки// Металлы и литье Украины. – 2001.- № 1-2. – С. 35 - 38. 5. Гладчук Е.А. Целевое формирование показателей продукции технической системы дискретного действия на примере широкополосного проката. В. сб. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 27. – С. 65 – 70. 6. Гладчук Е.А. Возможность минимизации энергопотребления технической системы дискретного действия в режиме непосредственного автоматизированного управления на примере прокатной клети. В. сб. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Вып. 31. – С. 53 – 59.

Сдано в редакцию 16.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СКЛАДЕНОЇ КАМЕРИ ВИСОКОГО ТИСКУ, ЗІБРАНОЇ З ПОЧАТКОВИМ НАТЯГОМ

Гладчук Є.О., Шульга А.В., (ДонДУЕТ, м. Донецьк, Україна)

Останні кілька років характеризуються значним зростанням інтересу до технологій впливу високого тиску на численні біологічні об'єкти і їхні композиції з метою консервації й поліпшення споживчих властивостей харчових продуктів.

У цей час промислові посудини високого тиску являють собою: рулонірованні посудини більших габаритних розмірів, сталеві товстостінні зварені посудини з бандажем з кілець, і складені камери високого тиску, що представляють собою «циліндр у циліндр» [1, 2, 3].

На факультеті обладнання переробних і харчових виробництв Донецького державного університету економіки і торгівлі розроблена та ефективно працює експериментальна установка високого тиску, що добре себе зарекомендувала своєю надійністю та експлуатаційними характеристиками.

Метою дослідження був аналіз напруженого стану складеної камери високого тиску розрахунковими методами.

Для цього необхідно виконати наступні завдання:

– сформулювати й прийняти гіпотези, необхідні для математичного рішення завдання;

- сформувати моделі деформованих сполучених циліндрів;
- вибрати необхідний математичний апарат;
- провести аналіз отриманих даних.

Розглянуте завдання досліджується у двовимірній осесиметричній постановці, що припускає, що на початковому етапі виготовлення двошарової камери високого тиску V виконуються запресовування концентричних порожніх циліндричних елементів (циліндричних шарів) V_1 і V_2 з перетинами $V_1: R_1 \leq r \leq R_{1c}$, $V_2: R_{2c} \leq r \leq R_2$, причому $R_{1c} \geq R_{2c}$ і $\delta = R_{1c} - R_{2c}$ являє собою досить малу величину.

Остання умова є базою для прийняття наступних граничних умов:

- переміщення на зовнішній границі Γ_1 внутрішнього циліндричного шару V_1 й переміщення на внутрішній границі Γ_2 зовнішнього циліндричного шару V_2 породжують пружне деформування обох шарів, і відповідний попередній пружний напружений стан V ;

- виникаючі при формуванні двошарового циліндра V переміщення на зовнішній границі Γ_1 внутрішнього циліндричного шару V_1 є пружними, а переміщення на внутрішній границі Γ_2 зовнішнього циліндричного шару – пластичними й відповідно до цього в шарі V_1 виникає пружний початковий напружений стан, а в шарі V_2 - початкове пружно-пластичний стан.

Завдання визначення початкового напруженого стану V розглядається при граничних умовах: необмежена довжина V_1 й V_2 і відповідно в рамках гіпотези про осьосиметричній плоскої деформації V .

1. Модель пружного деформування циліндрів, що сполучаються

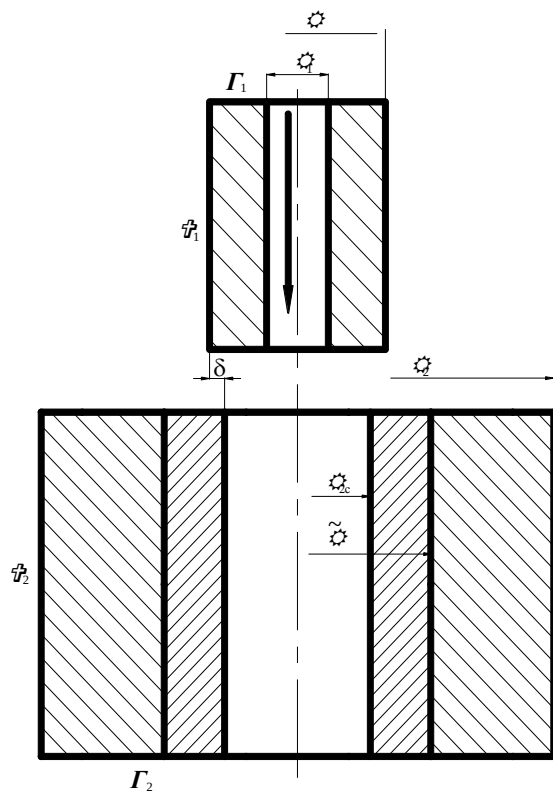


Рис. 1. Складена камера високого тиску

Відомо, що в посудинах, які складаються з поверхонь різної кривини, в місцях їх спряження виникають значні згинальні напруження. Тому найбільш доцільним є застосування циліндричних посудин. Перевага циліндричних посудин складається в рівномірному розподілі напружень за товщиною циліндра.

Вважаємо, що в процесі деформування двуслойного циліндра на зовнішній поверхні Γ_1 шару V_1 виникають пружні переміщення $u_{rc}^{(1)}$, на внутрішній поверхні Γ_2 шару V_2 - пружні переміщення $u_{rc}^{(2)}$, а радіус поверхні сполучення шарів має величину:

$$R = R_{1c} + u_{rc}^{(1)} = R_{2c} + u_{rc}^{(2)}.$$

Звідки:

$$u_{rc}^{(2)} - u_{rc}^{(1)} = R_{1c} - R_{2c} = \delta.$$

На поверхні сполучення радіуса R сполучені циліндри піддані впливу нор-

мального контактного тиску підлягаючому визначенню інтенсивності P . Напруги та пружні переміщення при осьосиметричному пружному деформуванні циліндричного шару описуються класичними формулами Ляме: для шару V_1 , що навантажується зовнішнім радіальним тиском p .

$$\sigma_{\theta}^{(1)} = -\left(1 + \frac{R_1^2}{r^2}\right) \frac{R^2}{R^2 - R_1^2} \cdot p; \quad (1)$$

$$\sigma_r^{(1)} = -\left(1 - \frac{R_1^2}{r^2}\right) \frac{R^2}{R^2 - R_1^2} \cdot p; \quad (2)$$

$$u_r^{(1)} = -\frac{p}{E_1} \frac{r}{R^2 - R_1^2} \left[(1 - \nu_1) R^2 - (1 + \nu_1) \frac{R_1^2 R^2}{r^2} \right]; \quad (3)$$

- для шару V_2 , навантаженого внутрішнім радіальним тиском P :

$$\sigma_{\theta}^{(2)} = \frac{R^2}{R_2^2 - R^2} \left(1 + \frac{R_2^2}{r^2}\right) \cdot p; \quad (4)$$

$$\sigma_r^{(2)} = \frac{R^2}{R_2^2 - R^2} \left(1 - \frac{R_2^2}{r^2}\right) \cdot p; \quad (5)$$

$$u_r^{(2)} = \frac{p}{E_2} \frac{r}{R_2^2 - R^2} \left[(1 - \nu_2) R^2 + (1 + \nu_2) \frac{R_2^2 R^2}{r^2} \right]. \quad (6)$$

Зі співвідношень (3) і (6) маємо:

$$u_{rc}^{(1)} = u_r^{(1)} \Big|_{r=R_{1c}+u_{rc}^{(1)}},$$

тобто:

$$P^{-1} = -\frac{1}{u_{rc}^{(1)} E_1} \cdot \frac{R_{1c} + u_{rc}^{(1)}}{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - R_1^2} \left[(1 - \nu_1) (R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - (1 + \nu_1) \frac{R_1^2 (R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2}{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2} \right]; \quad (7)$$

$$u_{rc}^{(2)} = u_r^{(2)} \Big|_{r=R_{2c}+u_{rc}^{(2)}},$$

тобто:

$$P^{-1} = \frac{1}{u_{rc}^{(2)} E_2} \cdot \frac{R_{2c} + u_{rc}^{(2)}}{R_2^2 - (R_{2c} + u_{rc}^{(2)})^2} \left[(1 - \nu_2) (R_{2c} + u_{rc}^{(2)})^2 + (1 + \nu_2) \frac{R_2^2 (R_{2c} + u_{rc}^{(2)})^2}{(R_{2c} + u_{rc}^{(2)})^2} \right]. \quad (8)$$

З урахуванням співвідношення:

$$u_{rc}^{(2)} = u_{rc}^{(1)} + \delta,$$

з (7) і (8) одержує рівняння для визначення $u_{rc}^{(1)}$:

$$\begin{aligned} & (u_{rc}^{(1)} + \delta)^{-1} \frac{(R_{2c} + u_{rc}^{(1)} + \delta)}{R_2^2 - (R_{2c} + u_{rc}^{(1)} + \delta)^2} \left[(1 - \nu_2) (R_{2c} + u_{rc}^{(1)} + \delta)^2 + (1 + \nu_2) R_2^2 \right] + \\ & + \frac{E_2}{E_1} (u_{rc}^{(1)})^{-1} \frac{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})}{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - R_1^2} \left[(1 - \nu_1) (R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - (1 + \nu_1) R_1^2 \right] = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

після рішення якого одержуємо можливість розрахувати по формулах (7) або (8) величину контактного тиску та по формулах (1)...(3),(4)...(6) відповідні характеристики по-

чаткового пружного напруженого стану для сполучених шарів V_1 і V_2 складеної конструкції V .

Результати розрахунків, виконаних для конструкції з параметрами $R_1 = 20,19 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $R_2 = 80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $R_{1c} = 34,025 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $R_{2c} = 33,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta = 0,125 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

матеріал шару V_1 - сталь *45XH2MΦA*, матеріал шару V_2 - сталь *30XΓCA*
 $E_1 = 2,09 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $E_2 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\nu_1 = 0,27$; $\nu_2 = 0,31$;

мають наступні значення:

$u_{rc}^{(1)} = -0,2404 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $u_{rc}^{(2)} = 0,101 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $R = 0,034 \text{ м}$; $P = 339,144 \text{ МПа}$.

Обчислені для даних значень визначених вище характеристик деформування та контактного тиску величини напруг σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$ на поверхні контакту у внутрішньому й зовнішньому циліндрах відповідно рівні:

- для V_2 $\sigma_{rr} = -339,114 \text{ МПа}$, $\sigma_{\theta\theta} = 488,677 \text{ МПа}$, а їхня різниця, що фігурує в критерії пластичності по Мизесу дорівнює $|\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr}| = 827,821 \text{ МПа}$, що перевищує значення границі текучості для сталі *30XΓCA*, що становить приблизно 300 МПа;

- для V_1 $\sigma_{rr} = -339,114 \text{ МПа}$, $\sigma_{\theta\theta} = -708,577 \text{ МПа}$, а їхня різниця, що фігурує в критерії пластичності по Мизесу дорівнює $|\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr}| = 369,433 \text{ МПа}$, що не перевищує значення границі текучості для сталі *45XH2MΦA*, що становить приблизно 400 МПа.

Ці розрахунки по моделі пружного деформування циліндрів, що сполучаються, показують, що прикордонна зона внутрішнього циліндра деформується в пружній зоні. А внутрішня прикордонна зона зовнішнього циліндра знаходиться в зоні пластичних деформацій.

2. Модель пружно-пластичного деформування сполучених циліндрів

Із припущення про пружний початковий напружений стан внутрішнього шару V_1 маємо:

$$u_{rc}^{(1)} = -\frac{p}{E_1} \frac{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})}{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - R_1^2} \left[(1 - \nu_1)(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - (1 + \nu_1)R_1^2 \right], \quad (10)$$

Звідки:

$$p = -\frac{E_1 u_{rc}^{(1)} \left[(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - R_1^2 \right]}{(R_{1c} + u_{rc}^{(1)}) \left[(1 - \nu_1)(R_{1c} + u_{rc}^{(1)})^2 - (1 + \nu_1)R_1^2 \right]}. \quad (11)$$

Гіпотеза про те, що контактний тиск P буде породжувати пружно-пластичну деформацію зовнішнього шару V_2 в зоні, пов'язаною з поверхнею Γ_2 , дозволяє застосувати для опису напружено-деформованого стану шару V_2 в складений зібраний з попереднім натягом конструкції V рішення завдання про пружно-пластичний стан порожнього циліндра під дією внутрішнього тиску [2].

У рамках цього рішення радіус $\tilde{R}$ зони пластичного стану усередині V_2 визначається із трансцендентного рівняння:

$$\ln \frac{\tilde{R}}{R_{2c} + u_{rc}^{(2)}} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\tilde{R}^2}{R_2^2} \right) = \frac{1}{2\tau_s} p, \quad (12)$$

де P визначається формулою (11),

$u_{rc}^{(2)} = u_{rc}^{(1)} + \delta$, τ_s - модуль пластичності в критерії пластичності Мизеса
 $\sigma_\theta^{(n)} - \sigma_r^{(n)} = 2\tau_s$.

Функція переміщень u_r у пластичній зоні з використанням співвідношення $\varepsilon_\theta = k\sigma + \tau_s\phi$ записується у вигляді

$$\begin{aligned} u_r^{(n)} &= r(k\sigma + \tau_s\phi) = r \left(\frac{k}{2} (\sigma_r^{(n)} + \sigma_\theta^{(n)}) + \tau_s \left(-k + \frac{1}{r^2} \tilde{R}^2 \left(k + \frac{1}{2G_2} \right) \right) \right) = \\ &= r \left(k \left(-p + 2\tau_s \ln \frac{r}{R_{2c} + u_{rc}^{(2)}} + \tau_s \right) + \tau_s \left(-k + \frac{\tilde{R}^2}{r^2} \left(k + \frac{1}{2G_2} \right) \right) \right), \\ G_2 &= \frac{E_2}{2(1+\nu_2)}; \end{aligned} \quad (13)$$

$k = \frac{1-2\nu_2}{E_2}$ - коефіцієнт об'ємного стиску матеріалу шару V_2 .

Записуючи далі з використанням формули (13) співвідношення $(u_r^{(n)})_{r=R_{2c}+u_{rc}^{(2)}} = u_{rc}^{(2)}$, у якому $u_{rc}^{(2)} = u_{rc}^{(1)} + \delta$, а P - визначається формулою (11), одержуємо друге трансцендентне рівняння, що утворить разом з рівнянням (12) систему трансцендентних рівнянь для відшукування $u_{rc}^{(1)}$ й $\tilde{R}$.

На підставі рішення даної системи визначається вся сукупність характеристик, що визначають початковий напружений стан V :

- переміщення $u_{rc}^{(1)}$, $u_{rc}^{(2)}$;
- контактний тиск p , описуваний формулою (11);
- напруги й пружні переміщення в шарі V_1 , описувані формулами (1)...(3);
- радіус $\tilde{R}$ зони пластичного деформування в шарі V_2 ;
- напруги, деформації й переміщення в зоні пластичного деформування шару V_2 по формулах:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(n)} &= -p + 2\tau_s \ln \frac{r}{R_{2c} + u_{rc}^{(2)}}; & \sigma_\theta^{(n)} &= \sigma_r^{(n)} + 2\tau_s; & \varepsilon_r^{(n)} &= \frac{k}{2} (\sigma_r^{(n)} + \sigma_\theta^{(n)}) - \tau_s\phi \\ \varepsilon_\theta^{(n)} &= \frac{k}{2} (\sigma_r^{(n)} + \sigma_\theta^{(n)}) + \tau_s\phi; & u_r^{(n)} &= r\varepsilon_\theta^{(n)}; & \phi &= \frac{\tilde{R}^2}{r^2} \left(k + \frac{1}{2G_1} \right) - k; \end{aligned}$$

- напруги й переміщення в зоні пружного деформування шару V_2 :

$$\sigma_r^{(y)} = \frac{q\tilde{R}^2}{R_2^2 - \tilde{R}^2} \left(\frac{R_2^2}{r^2} - 1 \right); \quad \sigma_\theta^{(y)} = -\frac{q\tilde{R}^2}{R_2^2 - \tilde{R}^2} \left(\frac{R_2^2}{r^2} + 1 \right); \quad u_r^{(y)} = -\frac{r}{E_2} (\sigma_\theta^{(y)} - \nu_2 (\sigma_\theta^{(y)} + \sigma_r^{(y)}));$$

де:

$$q = (\sigma_r^{(n)})_{r=\tilde{R}} = -p + 2\tau_s \ln \frac{\tilde{R}}{R_{2c} + u_{rc}^{(2)}}.$$

Висновки.

У такий спосіб розрахунки по моделі пружного деформування циліндрів, що сполучаються, показують, що прикордонна зона внутрішнього циліндра деформується в пружній зоні. А внутрішня прикордонна зона зовнішнього циліндра знаходиться в зоні пластичної деформації (рис. 2).

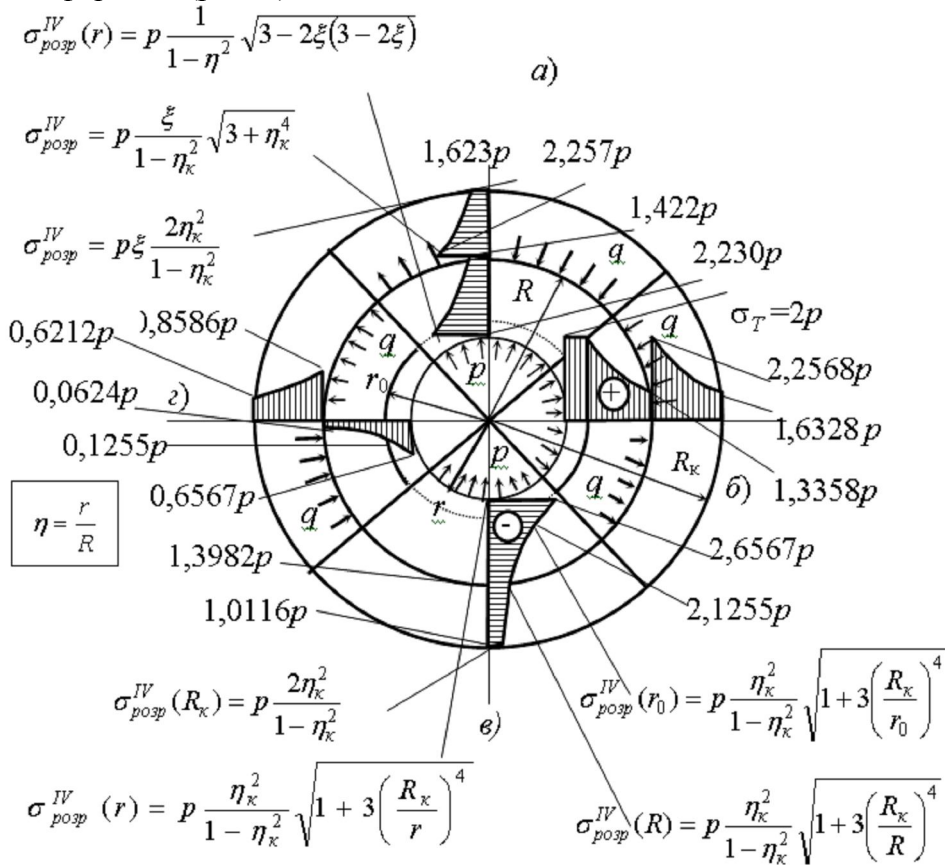


Рис. 2. Напружено-деформований стан циліндричної складеної камери: а) при роботі в пружній стадії, б) при пружно-пластичному деформуванні, в) при розвантаженні внутрішнього тиску, г) залишкові напруження

Обраний математичний апарат дозволив розрахунковими методами визначити, у формалізованому виді, всю сукупність характеристик, що визначають початковий напружений стан: переміщення $u_{rc}^{(1)}$, $u_{rc}^{(2)}$; контактний тиск p ; напруги, напруги та пружні переміщення в шарі V_1 ; деформації й переміщення в зоні пластичного деформування шару V_2 ; радіус $\tilde{R}$ зони пластичного деформування в шарі V_2 (рис. 2).

Отримані результати будуть використані в подальшій роботі при розробці параметричного ряду установок високого тиску.

Список литературы: 1. Петрова Ю.Н. Удосконалення процесу та обладнання для стабілізації якості вишневого соку з використанням високого тиску / Дисер. К.т.н. 05.18.12.- ДонДУЕТ, 2004 – 178с. 2. Петрова Ю.Н. Толстостенные сосуды для обработки пищевых продуктов /Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Меж-дунар.сб.науч.тр. – Вып.26. – Донецк: ДонНТУ, 2003. 3. Петрова Ю.М. Пружно-пластичні деформації в підкріплених циліндрах / Обладнання та технології харчових виробництв: Тем.зб.наук.пр. – Вип.9. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2004. 4. Качанов Л.М. Основы тео-

рии пластичности – М.: Наука, 1969 – 420 с. 5. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие. /Трешенко В.Т., Крассовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижалов В.А. – Киев: Наукова думка; 1993. – 288 с. 6. Гажа Г.П. Расчет сосудов высокого давления. – Киев, ИМФ АНУССР, 1971 – 81 с.

Сдано в редакцию 16.05.06

Рекомендовано д.т.н. Бутенко В.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРИФЕРИИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАМНЯ

Горобец И.А., Михайлов А.Н. *(ДонНТУ, Донецк, Украина)*

В настоящее время природный камень нашел применение в качестве конструкционного материала как в машиностроении (при изготовлении станин прецизионных станков, высокоточных узлов и деталей измерительных устройств, валов станков для целлюлозной промышленности, деталей для оборудования пищевой промышленности), так и в строительной индустрии, в качестве высококачественных отделочных материалов. Такая популярность использования изделий из камня объясняется физико-механическими характеристиками материала такими как: низкий (приближающийся к нулю) коэффициент линейного расширения, высокая инертность, твердость и достаточная прочность. Природный камень обладает и высокими декоративными свойствами, что и послужило причиной его использования в строительстве. Наибольшее распространение получили гранит, мрамор, лабрадорит, габбро, сланец, песчаник и др. Отделочные материалы из искусственных камней, как правило, представляют собой плиты на основе бетона или цемента с добавлением гранитной или мраморной крошки.

В настоящее время, подавляющее большинство облицовочных изделий из природного камня изготавливается с использованием абразивной обработки [1]. Особенностью технологии такой обработки заготовок из камня является наличие ряда стадий к которым относятся порезка на мерные плиты, многократное шлифование поверхности и полирование. Поверхностный слой заготовки из камня после предварительной обработки (порезки на мерные плиты) имеет неровности, вызванные изменениями макрогеометрии формы (выпуклость, вогнутость и т.д.), волнистостью и шероховатостью. Величина таких неровностей на пиленном блоке природного камня достигает 3 – 5 мм [1,2,3]. Одним из самых трудоемких и продолжительных по времени процессов обработки камня является шлифование, состоящие из десятков проходов [1,2], после чего обработанную поверхность камня подвергают полированию.

Особенностью формирования величины снимаемого хрупкого и хрупко-пластического слоя материала из камня является появление в процессе обработки дефектного слоя, состоящего из микротрещин поверхности [3,4]. Микротрещины, образуемые при обработке большинством из активных зерен алмазного абразивного инструмента, распространяются как в сторону вектора скорости главного движения, что способствует отделению слоя материала, так и вглубь заготовки. Распространение микротрещин при механической обработке поверхностного слоя камня формирует дополнительно к макро и

Сдано в редакцию 12.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Суслов А.Г.