ТДУ 621.793

ТАҒЙИРЁБИИ ШИДДАТҲОИ ҲАРОРАТӢ ҲАНГОМИ ХУНУКШАВИИ РӮЙПУШИ ПОЛИМЕРӢ ДАР ҶУЗЪҲОИ СИЛИНДРШАКЛ

Саидов М.Ҳ. – и.в. дотсент, **Хоҷаназаров Х.М.** – муаллими калон, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ, **Валиев С.З. -** ассистенти ДАТ ба номи Ш.Шохтемур

Калимаҳои калидӣ: *хокаи полимерӣ, методи Фуре, раванди хунукшавӣ, шиддатҳои ҳароратӣ, реҷаи ҳароратӣ, деформатсия, ҷузъҳои силиндршакл.*

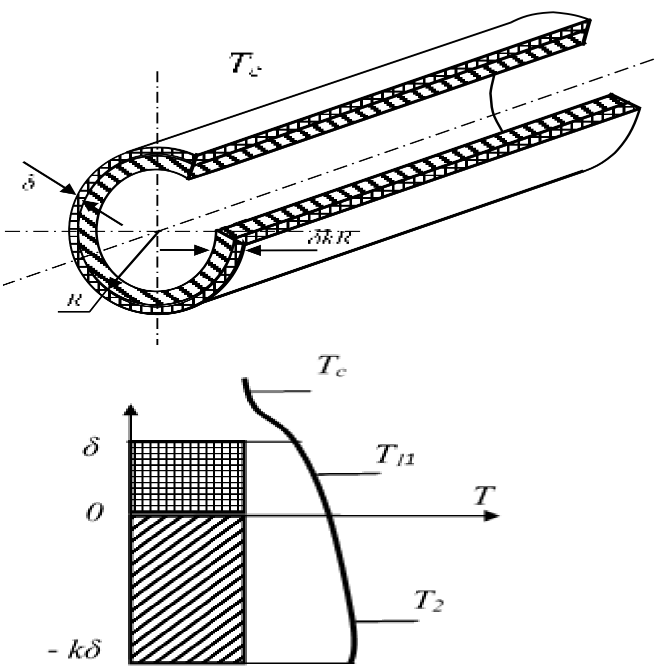
Амалиёти рӯйпӯшкунии полимерӣ раванди баландҳароратест, ки ҳангоми он дараҷаи пасту баландшавии ҳарорат гуногун буда, суръати гармшавӣ ва хунукшавӣ баланд мебошад. Гуногунии ҳарорат ва баланд будани суръати тағйирёбии он боиси тағйирёбии сохтор, деформатсияи пластикии рӯйпӯшҳо ва ҳам масолеҳи ҷузъ мегардад. Илова бар он, аз ҳисоби фарқияти байни хосиятҳои ҳароратӣ ва механикии масолеҳҳои рӯйпӯш ва ҷузъ шиддатҳои боқимонда ба амал меояд.

Деформатсия ва шиддати дохилӣ аз бисёр ҷиҳат аз сифати рӯйпӯшкунии полимерӣ вобастагӣ дорад. Аз ин лиҳоз, баҳодиҳӣ ва коркарди усули паст намудани сатҳи ҳолати шиддатнокӣ имконият медиҳад, ки эътимоднокӣ ва дарозумрии маснуоти рӯйпӯшшуда таъмин карда шавад. Шиддат дар масолеҳи ҷузъ ва рӯйпӯш дар ҳамаи марҳалаҳои раванди рӯйпӯшкунӣ – гармшавӣ, нигоҳдории ҳарорати доимӣ ва хунукшавӣ ба амал меояд. Аммо қайд намудан зарур аст, ки шиддатҳои дар рӯйпӯш дар ду марҳилаи аввал баамаломада ба хосиятҳои истифодабарии руйпӯш таъсири калон надоранд, зеро маводи рӯйпӯш хосияти калони пластикӣ дорад. Шиддате, ки дар марҳилаи хунукшавӣ ба амал меояд, барои ташаккулёбии хосиятҳои истифодабарии рӯйпӯшҳо ва коршоямии маснуоти рӯйпӯшшуда нисбатан муҳим мебошад.

Ҳангоми хунукшавии ҷузъҳои рӯйпшӯда майдони мураккаби шиддатҳои боқимонда ба амал омада, он аз тақсимшавии майдонҳои ҳароратӣ , хусусиятҳои шакл ва андозаҳои маснуот, таносуби нишондиҳандаҳои хосиятҳои термомеханикии маводҳои рӯйпӯши масолеҳи ҷузъ ва ғайра алоқаманд аст. Дар баробари он, ҳангоми рӯйпӯшкунӣ ба ҷузъҳои андозаҳои дароздошта тағйирёбии нисбатан содаи ҳолати деформатсияи сатҳиро баррасӣ намудан мумкин аст. Дар баробари он, хусусияти тағйирёбии сатҳ вобаста ба реҷаҳои гармшавӣ ва хунукшавӣ бо роҳҳои коҳишёбии сатҳӣ ва ҳолати нисбатан мураккабтари деформатсияи сатҳӣ хулосабарорӣ намудан имконият медиҳад.

Раванди хунукшавии полимер дар ҷузъи силиндршакл якҷоя бо омехташавии қабатҳои болоӣ ба амал меояд, дар ин вақт қабатҳои дарунӣ дар ҳолати часпандагӣ ва ҷоришавандагӣ боқӣ мемонад. Омехташавии рӯйпуш метавонад боиси ба амал омадани шиддатҳое гардад, ки аз ҳадди устувории рӯйпӯш калон буда, боиси кафидани он мегарданд.

Дар расми 1 нақшаи раванди хунукшавии силиндри рӯйпӯши полимеридошта пешниҳод шудааст. Системаи ҳарорати ибтидоӣ бо T_0 ишора гардидааст. Майдони ҳарорат дар қабати полимер ба воситаи функсияи $T_1 = T_1(t, y)$ ва девори пӯлодии силиндр бошад бо функсияи $T_2 = T_2\,(t, y)$ ифода шудааст [1]. Радиуси сатҳи силиндри филизӣ бо R ишора карда шудааст. Дар расми *1* ғафсии рӯйпӯш δ, девори силиндр – $k\delta$ ифода гардидаанд. Таҳлилро ба воситаи системаи Лагранҷ мегузаронем, ки он ба сатҳи силиндр алоқаманд мебошад. Дар дохили силиндр табодули ҳароратӣ вуҷуд надорад. Ҳарорати муҳити хунуккунанда T_c доимӣ мебошад. Таъсири ибтидоии ҳарорат дар девори силиндр ва рӯйпӯш якхела аст. Бар ва ғафсии рӯйпӯш ҳангоми хунукшавӣ тағйир намеёбад. Радиуси силиндр нисбат ба ғафсии рӯйпӯш ва девори силиндр хеле калон аст, бинобар ҳамин ҳангоми таҳлил гармигузаронӣ ва каҷии онҳоро (вазифа якченакӣ, ғайристатсионарӣ мебошад) ба эътибор намегирем. Маҷрои ҳарорат радиалӣ аст. Маҷрои гармӣ ба дарозии силиндрро ба эътибор намегирем. Байни рӯйпӯши полимерӣ ва сатҳи силиндр иртиботи мусоиди гармӣ мавҷуд аст. Азбаски силиндр дар атрофи меҳвари худ беист давр мезанад, шароити хунукшавӣ дар самти атрофи он якхела аст, яъне вазифа ба меҳвар симметрӣ мебошад. Хосиятҳои гармию физикии маводи полимер ва девори силиндр доимӣ мебошад. Таъсири гармии кристалишавиро сарфи назар мекунем. Сатҳи рӯйпӯш мутобиқи қонуни Нютон бо роҳи ба воситаи обпошӣ намудан хунук карда мешавад.



а) б)

Расми 1 - Нақшаи хунукшавии силиндр (а) ва тақсимшавии ҳарорат дар девори силиндр ва рӯйпӯш (б)

Нишондиҳандаҳо ва тағйирёбандаҳои беандозаро ворид мекунем:

$$\{\theta_1,\theta_2\} = \frac{\{T_1,T_2\}-T_C}{T_0-T_C}; Y = \frac{y}{\delta}; A = \frac{a_1}{a_2}; \Lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2};\ Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda_1}; Fo = \frac{\alpha_1 t}{\delta^2};$$

$$\{\overline{\sigma_z},\overline{\sigma_r},\overline{\sigma_\varphi}\} = \frac{\{\sigma_z,\sigma_z,\sigma_z\}(1-\mu)}{\beta E_0(T_0-T_C)};\ \Delta = \frac{\delta}{R} \quad (1)$$

дар ин ҷо: a_1, a_2, λ_1, λ_2 – мутобиқан зарибҳои гармигузаронии маводи рӯйпӯш ва масолеҳи силиндр; T_1, T_2, θ_1, θ_2 - ҳароратҳои андозадор ва беандозаи рӯйпӯш ва девори силиндр, K; T_c – ҳарорати муҳити хунуккардашуда, K; T_o – ҳарорати ибтидоии система, K; t – вақт, c; Λ, A – параметрҳои беандоза, y; Y- координатаҳои кундалангӣ андозадор ва беандоза; Bi - шумораи Био; Fo – шумораи Фуре; α – зариби гармидиҳӣ ; E_o – зариби вобастагии модули чандирии E аз ҳарорат, $E = E_0 e(\Delta T)$; $e(\Delta T)$ – функсияи беандозаи ҳарорат; $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\varphi$, $\bar{\sigma}_z, \bar{\sigma}_r, \bar{\sigma}_\varphi$ – компонентҳои андозадор ва беандозаи шиддат, *Па*. Функсияи $e(\Delta T)$ ба маводи рӯйпӯш вобаста буда, бо роҳи коркарди маълумоти таҷрибавӣ муқаррар карда мешавад. Бо дарназардошти имкониятҳо ва аломатҳо (1) вазифаи ниҳоӣ ба воситаи системаи муодилаҳои гармигузаронӣ , шароитҳои ибтидоӣ ва сарҳадӣ ифода карда мешавад.

$$\frac{\partial\theta_1}{\partial Fo} = \frac{\partial^2\theta_1}{\partial Y^2}; Fo > 0; 0 < Y < 1;$$

$$\frac{\partial\theta_2}{\partial Fo} = \frac{1}{\mathrm{A}}\cdot\frac{\partial^2\theta_2}{\partial Y^2}; Fo > 0; k < Y < 0; \qquad (2)$$

$$Fo = 0: \theta_1 = 1, \theta_2 = 1; \qquad (3)$$

$$Fo > 0:\ Y = 1,\ \ \frac{\partial\theta_1}{\partial Y} = -Bi\theta_1;$$

$$Y = -k;\ \frac{\partial\theta_2}{\partial Y} = 0; \qquad (4)$$

$$Y = 0,\ \theta_1 = \theta_2,\ \Lambda\frac{\partial\theta_1}{\partial Y} = \frac{\partial\theta_2}{\partial Y} \qquad (5)$$

Ҳалли вазифаи (2) – (5) бо методи Фуре дар намуди қаторҳо ҳосил шудааст.

$$\theta_1 = \sum_{n=0}^{\infty} A_{2,n} S_n \exp(-\mu_n^2 Fo)\sin(\mu_n Y + \varphi_{1,n});$$

$$\theta_2 = \sum_{n=0}^{\infty} A_{2,n} S_n \exp(-\mu_n^2 Fo)\sin(\mu_n\sqrt{AY} + \varphi_{2,n}); \quad (6)$$

$$A_{2,n}=\frac{\Lambda S_n[\cos\varphi_{1,n}-\cos(\mu_n+\varphi_{1,n})]-\sqrt{A}\cos\varphi_{2,n}}{\frac{\Lambda S_n^2}{4}\{2\mu_n+\sin 2\varphi_{1,n}-\sin[2(\mu_n+\varphi_{1,n})]\}+\frac{\sqrt{A}}{4}(2\mu_n\sqrt{Ak}-\sin 2\varphi_{2,n})};$$

$$S_n=\frac{\sin\varphi_{2,n}}{\sin\varphi_{1,n}}$$

Қиммати μ_n ва доимиҳои $\varphi_{1,n}$, $\varphi_{2,n}$ аз муодилаи зерин муайян мешаванд:

$$\Lambda\mathrm{tg}\varphi_{2,n}=\sqrt{A}\mathrm{tg}\varphi_{1,n};\ \cos(-\mu_n k\sqrt{A}+\varphi_{2,n})=0;$$

$$\mu_n=-Bi\mathrm{tg}(\mu_n+\varphi_{1,2}) \qquad (7)$$

Дар раванди хунукшавӣ қабатҳои болоии рӯйпӯш наздик ба ҳолати чандирӣ (модели Гук) қарор доранд. Қабатҳои рӯйпӯш наздик ба сатҳи болои силиндр, ки дар ҳолати гудохта мебошанд, метавонанд ҳангоми наздикшавии бори аввал ҳамчун моеъи часпак тавсиф карда шаванд. Аз модели дуқабатаи вобастагии механикии рӯйпӯш истифода мебарем.

Муодилаи баробарвазнӣ барои унсури рӯйпӯш намуди зеринро дорад [2]

$$\sigma_r dr+rd\sigma_r-\sigma_\varphi dr \qquad (8)$$

ки дар он $\sigma_r,\sigma_\varphi-$ шиддатҳои радиалӣ ва даврӣ дар девора, *Па*; *r* - радиус, м мебошанд. Шиддати сеюми асосӣ σ_z дар майдонҳое амал мекунад, ки онҳо ба буриши кундалангӣ наздиканд.

Аз қонуни умумигардонидашудаи Гук истифода бурда, ба деформатсияҳои дар натиҷаи шиддатҳо ва васеъшавии ҳароратӣ баамаломадаро илова менамоем. Дар чунин сурат барои деформатсияҳои асосӣ формулаҳои зеринро ҳосил мекунем.

$$\varepsilon_z=\frac{1}{E}(\sigma_z-\mu\sigma_r-\mu\sigma_\varphi)+\beta\Delta\mathrm{T};$$

$$\varepsilon_r=\frac{1}{E}(\sigma_r-\mu\sigma_z-\mu\sigma_r)+\beta\Delta\mathrm{T};$$

$$\varepsilon_\varphi=\frac{1}{E}(\sigma_\varphi-\mu\sigma_z-\mu\sigma_\varphi)+\beta\Delta\mathrm{T}, \qquad (9)$$

ки дар инҷо μ – зариби Пуассон буда, $\Delta T=To-T=(T_o-T_c)\cdot(1-\theta)$ – пастшавии ҳарорат мебошад. Барои зариби ҳарорати васеъшавии тӯлонӣ $\beta=const$ пешниҳод мекунем [3].

Рӯйпушонидани ҷузъи силиндршакл ба дарозӣ ва тағйирёбии рӯйпӯш нисбат ба девори онро сарфи назар мекунем. Дар ин ҳолат деформатсияи тулӣ дар рӯйпӯш мавҷуд нест $\varepsilon_z=0$.

Дар сатҳи берунии (озод) рӯйпӯш фишори мусоид мавҷуд аст, бо ҳамин сабаб шарти зеринро навишта метавонем

$$r=R+\delta,\ \varepsilon_r=0. \qquad (10)$$

Деформатсияи радиалии рӯйпӯш дар сатҳи болои силиндри пулоди вуҷуд надорад.

$$r=R,\qquad \varepsilon_r=0 \qquad (11)$$

Дар шакли беандозаи ҳалли масъала (8) – (11) намуди зеринро мегирад:

$$\overline{\sigma_z}=-e(\theta_1)\mu\left[\frac{1}{\mu}(\theta_1-1)+\frac{2(\theta_{1*}-1)(1+2\Delta^2+2\mu)}{(1-2\mu)(2\Delta+\Delta^2+2\mu)}+\frac{2\Delta}{(2\Delta+\Delta^2+2\mu)}I(1,Fo)\right]; \quad (12)$$

$$\overline{\sigma_r}=-\frac{e(\theta_1)}{(1+\Delta Y)^2}\left[-I(Y,Fo)-\frac{(\theta_{1*}-1)(1+\Delta Y)^2}{(1-2\mu)}+\frac{[(1+\Delta Y)^2-1+2\mu]}{(2\Delta+\Delta^2+2\mu)}\cdot\left[\frac{(\theta_{1*}-1)}{(1-2\mu)}+\frac{1}{(1+\Delta)^2}\cdot I(1,Fo)\right]\right];$$

$$\overline{\sigma_\varphi}=\frac{e(\theta_1)}{(1+\Delta Y)^2}\left[I(Y,Fo)-\theta_1+1+\frac{(\theta_{1*}-1)[(1+\Delta Y)^2(2\Delta-1-2\mu)+(1-2\mu)(1+\Delta)^2]}{(1-2\mu)(2\Delta+\Delta^2+2\mu)}+\frac{\Delta[(1+\Delta Y)^2+1-2\mu]}{2\Delta+\Delta^2+2\mu}\cdot I(1,Fo)\right],$$

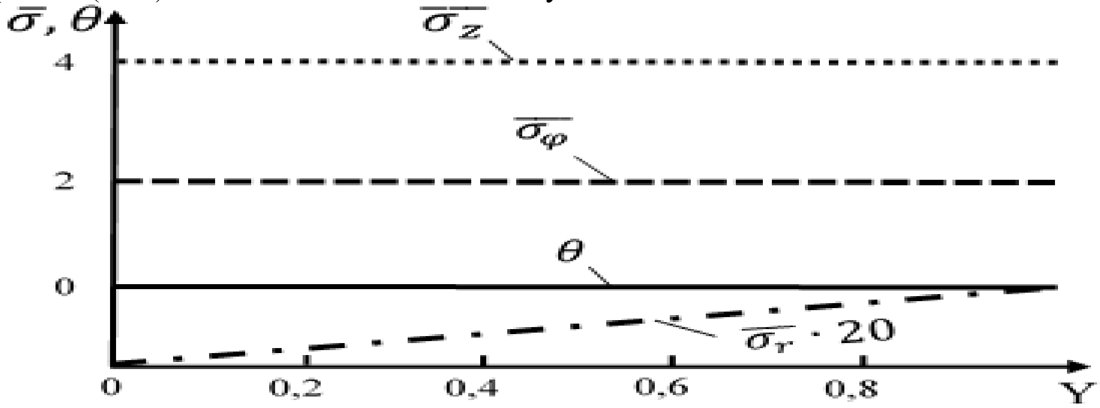
дар инҷо: $\theta_{1*}=\theta_1(Y=0,Fo)$, $I(Y,Fo)$ – интеграли намуд мебошад

$$I(Y,Fo)=\sum_{n=0}^{N}A_{2,n}S_n e^{-\mu_n^2 Fo}\cdot[\frac{1}{\mu_n}[\cos\varphi_{1,n}-\cos(Y+\varphi_{1,n})]+\frac{\Delta}{\mu_n^2}[\sin(\mu_n Y+)-\sin\varphi_{1,n}-\mu_n Y\cos(\mu_n Y+\varphi_{1,n})]]\cdot\frac{\sin\left(\frac{\pi n}{N+1}\right)}{\left(\frac{\pi n}{N+1}\right)}-Y-\Delta\frac{Y^2}{2}$$

бо назардошти муодилаи аввали ифодаи (6) ва σ-зарбкунандаи Ленсоша [3] ба даст оварда шудааст.

Агар дар оғози раванди хунуккунӣ дар рӯйпӯш шиддати $\bar{\sigma}_z = \bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_\varphi = 0$ вуҷуд надошта бошад, пас вақте, ки хунуккунӣ идома меёбад шиддатҳо меафзоянд ва дар анҷоми хунукшавӣ ба бузургии ниҳоӣ ($Fo \to \infty$) мерасад [4].

Хосиятҳои ниҳоии ҳалли масъала. Ҳангоми давом ёфтани хунуккунӣ ($Fo \to \infty$) дар ифодаи (12) гузоштани: $I\,(Y, \infty) = -Y - 0{,}5\Delta Y^2$, $\theta_1 = \theta_{1*} = 0$ зарур аст. Шиддатҳои меҳварӣ дар ғафсии рӯйпӯш якхела мебошанд. Дар баробари он, дар сатҳи рӯйпӯш $Y = 1$ шиддатҳои беандоза ба бузургиҳои $I\,(1, \infty) = -1 - 0{,}5A$, $\theta_1 = \theta_{1*} = 0$ ҷавобгӯ мебошанд. Дар қабатҳои рӯйпӯш, ки бевосита ба сатҳи болои силиндри пулодӣ наздиканд $Y = 0$ бузургии $I\,(0, \infty) = 0$, $\theta_1 = \theta_{1*} = 0$ ҳосил мекунем.



Расми 2 - Тақсимоти шиддатҳо ва ҳароратҳои асосии беандоза дар болопӯш ҳангоми пурра хунукшавии системаи Fo → ∞

Хулоса. Рӯйпӯшкунӣ бо хокаи полимерӣ ҳамчун қабати муҳофизатӣ дар ҷузъҳои силиндршакл дар зери таъсири ҳарорати баланд рӯх медиҳад, ки дар натиҷаи он дар ҷузъ имконияти пайдошавии деформатсия дар назар дошта шудааст. Ин раванд метавонад боиси пайдошавии роғҳо дар қабати рӯйпуш гардад. Раванди хунукшавии ҷузъи силиндршакл якҷоя бо қабати рӯйпуш ба амал меояд, ки сабаби пайдошавии шиддатҳои ҳароратӣ мегардад. Шиддатҳои пайдогардида аз сабаби нобаробарии ҳарорати гудозиши руйпуш ва ҷузъ боиси кафидани сатҳи болоии рӯйпӯш мегардад. Барои пешгӯисозӣ аз пайдошави роғҳо ва кафидани сатҳи болоии ҷузъҳо, моделсозии математикӣ бо истифода аз қонуни Нютон ин пешниҳод гардидааст.

Ифодаи (12), ки дар натиҷаи моделсозӣ ҳосил шудааст, метавонем барои баҳогузории муҳандисии бузургиҳои шиддатҳои дохилии ҳароратӣ дар рупӯш ва ҳангоми дохилкуни дар барномаҳои компютерӣ ба сифати тест истифода бурдан мумкин аст.

АДАБИЁТ

1. Саидов М.Ҳ., Хоҷаназаров Х.М., Кинетикаи тағйирёбии шиддатҳои ҳароратӣ дар раванди хунукшавии силиндри дуқабата // Пайёми ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ . Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ . №2 (42)-2018. С.58-62.
2. Х.М. Хоҷаназаров, М.Ҳ. Саидов Равандҳои ҳароратӣ ҳангоми рӯйпӯшкунии маводи полимерӣ // Пайёми ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ . Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ . №2 (42)-2018. С. 65-68.
3. Г. Арфкен Математические методы в физике / Г. Арфкен. – М. : Атомиздат, 1970. – 712 с.
4. Саидов М.Ҳ., Тавсифҳои адгезионии рӯйпӯшҳои полимерӣ // Пайёми ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ . Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ №2 (46)-2019. С. 60-64.

АННОТАЦИЯ

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЯХ

Установлено, что процесс охлаждения полимера происходит вместе с перемешиванием верхних слоев цилиндрических деталей, в то время как внутренние слои остаются в состоянии адгезии и текучести. Смешивание покрытия с компонентом может вызвать напряжения, превышающие прочность покрытия, и может вызвать растрескивание покрытия. По результатам математического моделирования, для определения температурных напряжений ,можно прогнозировать образование трещин в полимерном покрытии. Изменение напряжений в полимерном покрытии ,при охлаждении поверхности детали путем распыления, анализировано по закону Ньютона.

Ключевые слова: *полимерные порошки, метод Фуре, процесс охлаждения,*

температурные напряжения, температурный режим, деформация, цилиндрические детали.

ANNOTATION

CHANGE IN TEMPERATURE POTENTIAL WHEN COOLING POLYME COATINGS ON CYLINDRICAL PARTS

It has been established that the polymer cooling process occurs together with the mixing of the upper layers of the cylindrical part, while the inner layers remain in a state of adhesion and fluidity. Mixing the coating with the component can cause stresses that exceed the strength of the coating and can cause the coating to crack. Based on the results of mathematical modeling to determine the temperature potential, in the polymer coating. The change in stresses in the polymer coating upon cooling the surface of the part by spraying is analyzed according to Newton's law.

Key words: *polymer powders, Fure method, cooling process, temperature stresses, temperature conditions, deformation, cylindrical parts.*