

ӘОЖ 621.771.25/26: 669.1

СУЫТУШЫ ҚҰРЫЛҒЫ ЭЛЕМЕНТІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЕСЕПТЕУ

Б.Б. БЫХИН, М.Ж. АБИШКЕНОВ

(Теміртау қ., Қарағанды мемлекеттік индустриялық университеті)

Соңғы жылдары сортты прокат өнімдерін алу технологиясында сапалық жағынан айтарлықтай алға басушылық байқалуда. Аталған алға басушылықтардың негізгі қозғаушы күші – келешегі зор әрі экономикалық жағынан тиімді технологияларды өндіріске кешенді түрде енгізу. Осы тұрғыда әр түрлі сортты прокат өнімдерін алуға мүмкіндік беретін стандарда прокаттауды іске асыру барысында процестің температуралық-деформациялық параметрлерін толыққанды бақылауды, қадағалауды және басқаруды іске асыру мәселесіне баса назар аударылуда және осы мәселені шешудің көптеген әдіс-тәсілдері белгілі. Аталған әдіс-

тәсілдердің ішіндегі неғұрлым әмбебап әрі тиімдісі – термомеханикалық өңдеу.

Термомеханикалық өңдеу (ТМӨ) мағынасы өте кең ұғым және оның түрлері де сан алуан [1]. Жалпы алғанда ТМӨ дегеніміз аустенит күйінде термиялық өңдеу мен деформациялық өңдеуді бір операцияға біріктіретін металл өңдеу процесі. Әдетте ТМӨ барысында деформациялау, қыздыру және суыту операциялары әр түрлі реттілікте қолданыла отырып металл құрылымына кешенді түрде әсер етеді, нәтижесінде металдың немесе металл қорытпасының түпкілікті құрылымы мен қасиеттері қалыптасады. ТМӨ көптеген артықшылықтары бар (сурет 1).

Термомеханикалық өңдеудің (ТМӨ) басты артықшылықтары



Сурет 1.

Қазіргі таңда көміртекті және аз легіріленген болаттардан жасалған кең сортаменті прокат өнімдері ТМӨ процесінен өтеді. Аталған прокат өнімдері ішінен қара металлургияда жаппай өндірілетін және құрылыс индустриясында кеңінен таралған арматуралық прокаты ерекше бөліп көрсетуге болады.

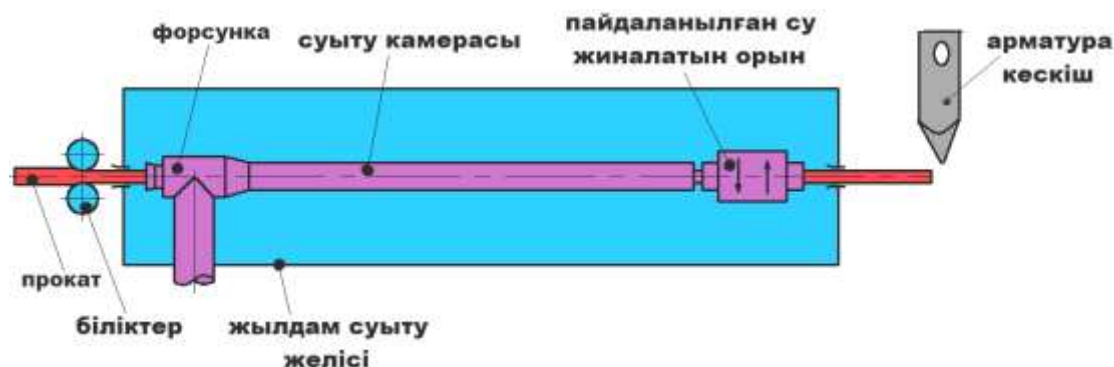
Арматуралық прокатты ТМӨ оның сапасын арттыру мен энергия үнемдеудің тиімді тәсілі болып табылады және бұл жайында кеңінен [2-5] жұмыстарда баяндалған. Аталған жұмыстармен қатар соңғы жылдары шыққан [6-8] патенттік жұмыстарды да атап

өтуге болады.

Арматуралық прокатты ТМӨ негізінен алғанда стан желісінде жылдам суыту есебінен арматуралық прокатың аққыштық шегі мен уақытша кедергісін немесе осы екі параметрдің біреуін арттыруға бағытталатын операция.

Арматуралық прокатты ТМӨ әдістерінің ішінде қазіргі кезде неғұрлым кең таралғаны – прокат станының соңғы клетінен шыққаннан кейін арматуралық прокатты жылдам суыту. Оның жалпылама схемасы төменде (сурет 2) көрсетілген [9].

Арматуралық прокатты жылдам суытуды іске асыратын суытушы құрылғының жалпылама схемасы



Сурет 2.

Жылдам суыту арқылы термомеханикалық өңдеудің (беріктендірудің) бастапқы температурасы прокаттаудың соңғы температурасына, яғни станның соңғы таза өңдеу клетінен шығардағы металл температурасына сәйкес келеді. Ал термомеханикалық өңдеудің (беріктендірудің) соңғы температурасы жылдам суытуға арналған суытушы құрылғының мүмкіндігімен және соңғы өнімге арналған стандарттың талаптарымен анықталады да болаттағы химиялық элементтердің

құрамына тәуелді болады.

Арматуралық прокатты жылдам суытуды іске асыратын суытушы құрылғының параметрлерін есептеу аталған құрылғыны оңтайлы әрі тиімді жобалаудың маңызды шарты болып табылады. Аталған есептеу әдістерінің даму желісімен [10,11] еңбектерден нақтылай танысуға болады және біздің есептеулерде де осы дереккөздерге сүйенеміз.

Есептеудің бастапқы параметрлері төменде көрсетілген (кесте 1).

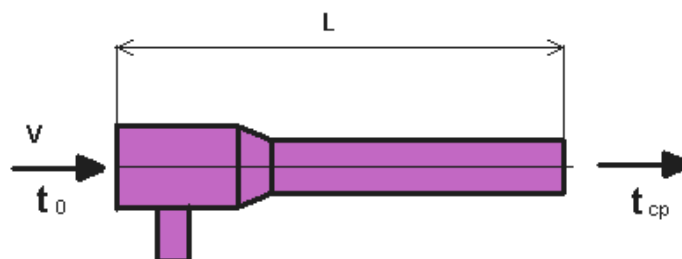
Кесте 1.

Суытушы құрылғыны есептеуге арналған бастапқы параметрлер

арматуралық болат маркасы	Ст3сп (МемСТ 380-2005)
арматуралық профильдің (прокаттың) диаметрі, 2R	12 мм
арматуралық профильді прокаттаудың соңғы температурасы, t_0	940°C
600°C болаттың массалық жылу мөлшері, i_m	341 кДж/кг
900°C болаттың массалық жылу мөлшері, i_m	628 кДж/кг
1000°C болаттың массалық жылу мөлшері, i_m	699 кДж/кг
суыту камерасының типі (сурет 3)	қимасы дөңгелек (70×6 мм құбыр қолданылады), өтпелі (ұзындығы L)
жылдам суыту камерасының ішінде прокаттың қозғалыс жылдамдығы, V	10 м/с
суытуды іске асыратын судың температурасы, t_2	35°C
судың шекті қызу температурасы, Δt_b	50°C
жылдам суытудан кейінгі арматуралық профильдің қимасы бойынша алынған орташа температурасы, t_{cp}	600°C;
жылу өткізгіштік коэффициенті, a	5,5 мм ² /с
суыту камерасының ішкі диаметрі, d_k	58 мм
МемСТ 5781-82 сәйкес 1 м арматуралық профильдің орташа массасы, m	0,888 кг

судың жылу сыйымдылығы, с	4,19 кДж/кг·°С
су ағысының минималды салыстырмал жылдамдығы, $V_{c.a.min}$	5 м/с

Өтпелі типтегі камерада арматуралық профильді суыту



Сурет 3.

Есептеуді суытушы камераның L ұзындығын анықтаудан бастаймыз. Осы ретте есептеуді критериалдық түрде жүргізген тиімді. Бұл үшін орташа салыстырмалы температура $\Theta_{cp} = \frac{t_{cp} - t_n}{t_0 - t_n}$ және Фурье саны

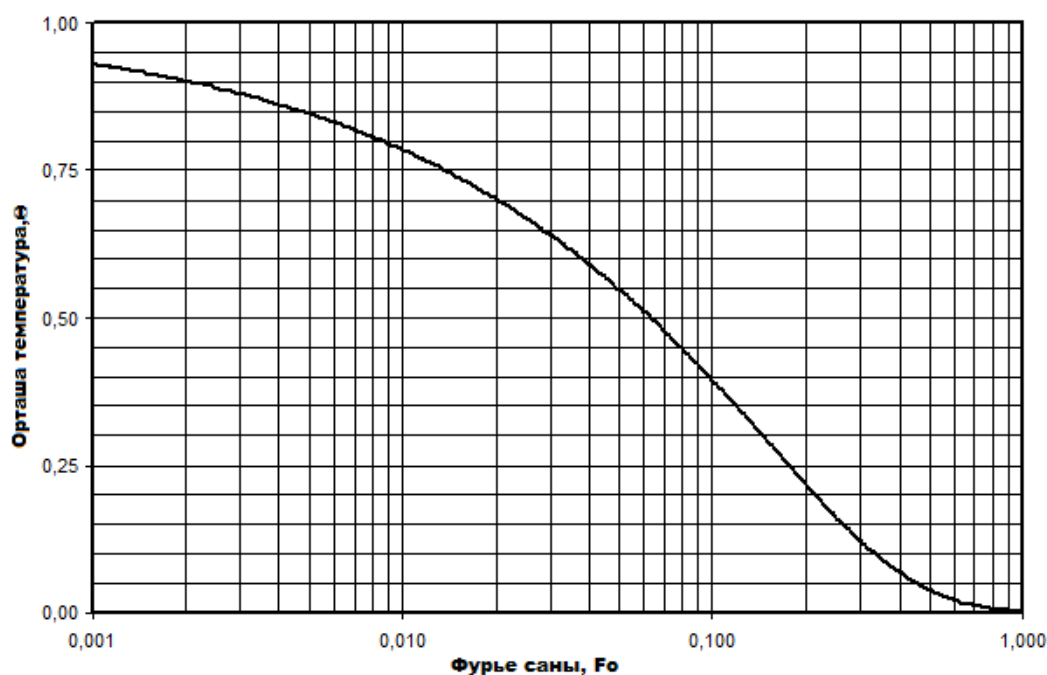
$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2}$ ұғымдарын енгіземіз, мұндағы τ – суыту уақыты, яғни Фурье саны суыту уақытына тура пропорционал.

Орташа салыстырмалы температура мен Фурье саны арасындағы тәуелділік (сурет 4) келесідей түрде болады:

$$\Theta_{cp} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\mu_n^2} \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo), \quad (1)$$

мұндағы μ_n – нөлдік ретті бірінші текті $J_0(\mu_n) = 0$ түріндегі Бессель тендеуінің n -ші шешімі.

Орташа салыстырмалы температура мен Фурье саны (суыту уақыты) арасындағы тәуелділік



Сурет 4.

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт»

(1) тәуелділікке кері тәуелділік арматуралық профильді қимасы бойынша орташа температураға дейін суытуға қажетті уақытты сипаттайды:

$$Fo_{\Theta}(\Theta_{зад}) = [\Theta_{cp}(Fo)]^{-1}. \quad (2)$$

Ендігі ретте есептеуді орындауға болады:

$$\Theta_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{t_{\text{н\ddot{o}}} - t_i}{t_0 - t_i} = \frac{600 - 35}{940 - 35} = \frac{565}{905} = 0,624.$$

$$Fo = Fo_{\Theta}(\Theta_{cp}) = Fo_{\Theta}(0,624) = 0,0355.$$

$$\tau = \frac{Fo \cdot R^2}{a} = \frac{0,0355 \cdot 5^2}{5,5} = 0,161 \text{ с.}$$

$$L = V \cdot \tau = 10 \cdot 0,161 = 1,614 \text{ м.}$$

Осылайша, суытушы камераның ұзындығы $L=1,614$ м тең болуы тиіс.

Уақыт бірлігі ішінде суытылатын металл мөлшері:

$$M = m \cdot V = 0,888 \cdot 10 = 8,88 \text{ кг/с.}$$

Прокаттаудың соңындағы болаттың массалық жылу мөлшері:

$$i_{m0} = i_m(t_0 = 940^\circ\text{C}) = i_m(t = 900^\circ\text{C}) + \frac{940 - 900}{1000 - 900} \cdot (i_m(t = 1000^\circ\text{C}) - i_m(t = 900^\circ\text{C})) = 628 + 0,5 \cdot (699 - 628) = 592,5 \text{ (кДж/кг)}.$$

Жылдам суытудың болаттың массалық жылу мөлшері:

$$i_{m\text{yo}} = i_m(t_{cp} = 600^\circ\text{C}) = 341 \text{ кДж/кг},$$

Уақыт бірлігі ішінде арматуралық прокаттың беретін жылу мөлшері:

$$q = M \cdot (i_{m0} - i_{m\text{yo}}) = 8,88 \cdot (592,5 - 341) = 2233,3 \text{ кДж/с.}$$

Суытушы судың минималды шығыны:

$$Q_{\min} = \frac{q}{\Delta t_{\theta} \cdot c} = \frac{2233,3}{50 \cdot 4,19} = 10,660 \text{ кг/с} [38,376 \text{ м}^3/\text{с}].$$

Су ағысының минималды шекті жылдамдығы

$$V_{a\text{гыс},\min} = V + V_{c,a,\min} = 10 + 5 = 15 \text{ м/с.}$$

Су шығыны тұрғысынан алып қарағандағы оңтайлы ағыс ауданы

$$S_{\text{онт},a\text{гыс}} = \frac{Q_{\min}}{V_{a\text{гыс},\min}} = (38,376 / 3600) / 15 \cdot 10^6 = 692,1 \text{ мм}^2.$$

Суыту камерасының оңтайлы диаметрі:

$$d_{\text{онт}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{\text{онт},a\text{гыс}} + (2R)^2} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 692,1 + 12^2} = 32,026 \text{ мм.}$$

Суыту камерасының ішкі диаметрі оңтайлы диаметрден үлкен болғандықтан ($d_k > d_{\text{онт}}$), суыту процесі судың артық жұмсалыуымен жүреді.

Ағыс қимасының нақты ауданы:

$$S_{a\text{гыс}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - (2R)^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (58^2 - 12^2) = 2530 \text{ мм}^2$$

Нақты ағыс жылдамдығын ағыстың минималды шекті жылдамдығына тең деп қабылдаймыз, яғни $V_{a\text{гыс}} = V_{a\text{гыс},\min} = 15 \text{ м/с.}$

Нақты су шығыны:

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт»

$$Q_{a_{\text{гвс}}} = V_{a_{\text{гвс}}} \cdot S_{a_{\text{гвс}}} = 15 \cdot 2530 \cdot 10^{-6} = 37,95 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} [136 \text{ м}^3/\text{свг}]$$

Суыту камерасының гидравликалық радиусы:

$$R_{\text{гидрк}} = \frac{S_{a_{\text{гвс}}}}{\pi \cdot d_{\text{к}}} = \frac{2530}{\pi \cdot 58} = 13,9 \text{ мм.}$$

Суыту камерасының ұзындығы бойынша кедергі коэффициентін $\lambda_{\text{е}} = 15 \cdot 10^{-3}$ тең деп алсақ, суытатын судың суыту камерасының қабырғасына соғылғандағы үйкелісінен пайда болатын жалпы жоғалтулар коэффициенті:

$$\zeta_{\text{к}} = \lambda_{\text{к}} \cdot \frac{L}{4 \cdot R_{\text{гидрк}}} = 0,436$$

Прокаттың гидравликалық радиусы:

$$R_{\text{гидрл}} = \frac{S_{a_{\text{гвс}}}}{\pi \cdot 2R} = \frac{2530}{\pi \cdot 12} = 67,1 \text{ мм.}$$

Прокат ұзындығы бойынша кедергі коэффициентін $\lambda_{\text{т}} = 75 \cdot 10^{-3}$ тең деп алсақ, суытатын судың прокат бетіне соғылғандағы үйкелісінен пайда болатын жалпы жоғалту-

лар коэффициенті:

$$\zeta_{\text{н}} = \left(\frac{V_{\text{с.д. мин}}}{V_{a_{\text{гвс}}}} \right)^2 \cdot \lambda_{\text{н}} \cdot \frac{L}{4 \cdot R_{\text{гидрл}}} = 0,05.$$

Суыту камерасы толығымен толған жағдайдағы форсункада ағыс қалыптастыруға кететін су ағысы күшінің жоғалту коэффициенті:

$$\zeta_{\text{д}} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{е}} + \zeta_{\text{д}}}} \right)^2 = 0,032.$$

Қажетті су арынының күші мен форсунка алдындағы қысым:

$$h_{\text{вх}} = \frac{V_{a_{\text{гвс}}}^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_{\text{ф}} + \zeta_{\text{к}} + \zeta_{\text{р}}) = 17,426 \text{ м}$$
$$P_{\text{вх}} = 5,5 \text{ кгс/см}^2$$

ҚОРЫТЫНДЫЛАР:

1. Өтпелі типті суыту камерасында арматуралық прокаттың жылдам суытылу мәселесі қарастырылды.
2. Арматуралық прокаттың бірқалыпты әрі бірдей суытылуын немесе жылдам суыту

желісінің минималды ұзындығын қамтамасыз ететін суытушы құрылғының параметрлері есептелді.

3. Қарқынды су ағынымен арматуралық прокатты жылдам суыту желісінің параметрлерін есептеу әдістемесі баяндалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Смагоринский М.Е. и др. Справочник по термомеханической и термоциклической обработке металлов. СПб.: Политехника, -1992. – 416 с.
2. Юрьев А.Б. Упрочнение строительной арматуры и прокатных валков. – Новосибирск: Наука, 2006. – 227 с.
3. Бровкин В.Л., Анурова Т.В., Радченко Ю.Н., Коваленко В.В., Лазич Л. Анализ существующих технологий ускоренного охлаждения сортового проката и его влияние на структуру и механические свойства металла. // «Металлургическая теплотехника». -2010. Выпуск 2 (17). –С.14-22.
4. Узлов И.Г., Раздобреев В.Г., Сидоренко О.Г. и др. Высокоэффективный термически упрочненный арматурный прокат различных уровней прочности. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. трудов, Выпуск 7 (Металловедение и термическая обработка), ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск, -2004. С.113-122.
5. И.А. Вакуленко, В.Г. Раздобреев, О.Н. Перков. Высокоэффективный термомеханический упрочненный арматурный прокат. // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. -2007. №14. – С.232-234.
6. Патент РФ №2471004. Способ производства стальной высокопрочной наноструктурированной арматуры. / Лебедев В.Н., Бакшинов В.А., Чукин М.В., Коломиец Б.А., Корчунов

А.Г., Соколов А.А. опубл. 27.12.2012.

7. Патент РФ №2287021. Способ изготовления высокопрочной термоупрочненной арматурной стали. / Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я., Дехтеренко Н.Г., Ефимов О.Ю., Зезиков М.В., Клепиков А.Г., Никиташев М.В., Погорелов Д.А., Колесников Н.С. опубл. 10.11.2006.

8. Патент РФ № 2448167. Способ термомеханической обработки проката. / Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Зезиков М.В., Белов Е.Г., Дикань О.В., Иванов Е.А., Смарикин А.В., Нечунаев А.А., Чернов И.М. опубл. 20.04.2012.

9. И.А. Гунькин. Термомеханическое упрочнение арматурного проката. Web-сайт “Термист” (termist.com).

10. Развитие методики расчета параметров устройств для охлаждения проката сплошным потоком воды / И.А.Гунькин // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. трудов, Выпуск 7 (Металловедение и термическая обработка), ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск, 2004. с. 249-260.

11. Ускоренное охлаждение арматурного проката в нескольких камерах. Шеремет В.А., Любимов И.М., Смияненко И.Н. и др. // Теория и практика металлургии (г. Днепропетровск), 2001 г., - С. 37-40.

УДК 621.771.06-114

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (НДС) СТАНИНЫ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ НШПС-1700

М.К. ИБАТОВ, К.А. НОГАЕВ, Н.В. АХМЕТГАЛИНА, Д.Е. ГУРЬЕВ
(г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет)

Развитие технологии прокатки создает потребность в совершенствовании прокатного оборудования, в частности рабочей клетки, так как прочность и жесткость каждой детали клетки может существенно ограничивать режимы деформации металла при прокатке. Поэтому при проектировании новых и совершенствовании существующих прокатных клетей, а также при разработке технологических режимов прокатки целесообразно проводить моделирование на ЭВМ конструкций этих клетей с определением напряженно-деформированного состояния (НДС) каждой детали [1].

Одним из эффективных инструментов для решения вышеуказанной задачи является САД-система Autodesk Inventor с интегрированным в ее состав расчетным САЕ-модулем, предназначенным для решения упругих задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов.

Для анализа напряженно-деформирован-

ного состояния станины в среде

Autodesk Inventor необходимо выполнить следующие операции [2]:

- создать твердотельную модель станины;
- задать материал детали, их механические и физические свойства (модуль упругости, массовую плотность, коэффициент Пуассона, предел прочности и т.п.);
- сформировать кинематические и статические граничные условия;
- создать сетку конечных элементов детали;
- решить поставленную задачу определения напряженно-деформированного состояния деталей с использованием решателя системы.

Указанная методика позволяет анализировать действующие и конструировать новые рабочие клетки прокатных станов. При анализе действующих конструкций твердотельные модели строят на основе имеющихся чертежей общего вида деталей рассматри-