

УДК 621.774.38

Медведев М. И.
Беспалова Н. А.
Панченко С. А.
Захарченко А. П.
Чекмарев В. В.

ОЦЕНКА КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Особенности деформирования нержавеющей и легированных сплавов требуют надежных методик расчета, позволяющих определять рациональные технологические параметры, учитывающие деформируемость сплавов в промышленных условиях, а также обеспечивающих получение качественных труб расширенного сортамента, как по их типоразмерам, так и по маркам сталей и сплавов.

Для определения силовых характеристик процесса прессования и разогрева металла в зоне деформации необходимо знать величину сопротивления деформации.

Одним из часто применяемых методов определения его величины для процессов ОМД является метод термомеханических коэффициентов [1].

В указанном методе используются величины сопротивления деформации, определяемые механическими испытаниями при температуре металла 1000 °С, степени деформации 10 % и скорости деформации 10 с⁻¹, а также коэффициенты, учитывающие степень, скорость деформации и температуру металла, границы применения которых находятся в пределах: по температуре до 1200 °С, по степени деформации до 25 %, по скорости деформации до 103 с⁻¹. Этот метод позволяет получать достоверные результаты для процесса горячей прокатки труб.

Однако, для процесса горячего прессования труб, особенно из труднодеформируемых сплавов, имеющего схему напряженного состояния – всестороннее неравномерное сжатие, степень деформации до 90 %, температуру металла до 1250 °С, скорость деформации до 100 с⁻¹, применение указанного метода не позволяет учесть выше указанные особенности процесса.

Целью работы является получение формул для расчета базового значения среднего нормального контактного напряжения в зависимости от содержания легирующих элементов для любых осваиваемых и проектируемых прессовых установок с горизонтальными гидравлическими прессами.

Разработанный метод предполагает использование вместо величины сопротивления деформации, определяемого простыми механическими испытаниями, величину среднего нормального контактного напряжения, определяемого путем пересчета из замеров силы прессования в промышленных условиях существующих прессовых установок по следующей зависимости:

$$P = F \cdot \ln \mu \cdot \rho, \quad (1)$$

где P – сила прессования, МН;

F – площадь сечения гильзы в распрессованном состоянии, м²;

μ – коэффициент вытяжки;

ρ – среднее нормальное контактное напряжение, МН/м².

В формуле (1) ρ – среднее нормальное контактное напряжение, на которое влияют сопротивление деформации, геометрия очага деформации и другие условия прессования.

Его величина в той же мере зависит от химического состава сплава, температуры, степени и скорости деформации, как и истинный предел текучести металла. Преимущество такого подхода – возможность достаточно простого экспериментального определения величины среднего нормального контактного напряжения.

Его величину для процесса горячего прессования можно представить в общем виде:

$$\rho = \rho_0 K_{T,S} K_{\mu} K_V, \quad (2)$$

где ρ_0 – среднее нормальное контактное напряжение при базовых условиях для каждой прессовой установки с учетом трения, МН/м²;

$K_{T,S}$ – коэффициент, учитывающий отклонение температуры нагрева и толщины стенки гильз от базовых значений, равный $K_S \cdot K_T$;

K_{μ} – коэффициент, учитывающий отклонение степени деформации от базового значения;

K_V – коэффициент, учитывающий отклонение скорости деформации от базового значения.

Под базовыми условиями для приведенных прессовых установок приняты наиболее часто используемые температура нагрева и толщина стенки гильз, диаметр втулки контейнера, а также длительность вспомогательных операций (табл. 1). Базовый коэффициент вытяжки равен 8, степень деформации – 83 % и скорость деформации – 90 с⁻¹.

Таблица 1

Технологические параметры прессовых установок

Сила прессования установки, МН	Длительность вспомогательных операций, с	Диаметр втулки контейнера, мм	Толщина стенки гильзы, мм	Температура нагрева гильз, °С
31,5	37	195	50	1150
20	98	195	50	1200
55	125	341	80	1200
44	60	191	50	1150

Известно [2], что сопротивление деформации и пластичность сплавов существенно зависят от степени их легирования.

Для прессовых установок ЗАО «Никопольский завод нержавеющей труб» и ОАО «Волжский трубный завод», при обработке с помощью методов математической статистики результатов прессования из 30-ти труднодеформируемых сплавов, таких как ЭП670(ХН32Т), ЭП747(ХН45Т), ЭИ435(ХН78Т), ЭП337(ХН40Б) труб размерами $\varnothing 76-159 \times 8-20$ мм усилием 31,5 МН ЗАО «Никопольский завод нержавеющей труб», $\varnothing 76-133 \times 8-20$ мм – на прессе 20 МН, $\varnothing 133-245 \times 8-30$ мм – на прессе 55 МН ОАО «Волжский трубный завод», получены формулы для расчета базового значения среднего нормального контактного напряжения в зависимости от содержания легирующих элементов [3].

Для прессов ЗАО «Никопольский завод нержавеющей труб»:

$$\rho_0 = 200 + 1,2(\text{Ni} + \text{Cr})\% + 6,5(\text{W} + \text{Mo} + \text{Nb} + \text{V})\%. \quad (3)$$

При прессовании труб в условиях ОАО «Волжский трубный завод» из аустенитных сталей и сплавов с содержанием $\text{Ni} + \text{Cr} > 20$ % для пресса 20 МН:

$$\rho_0 = 215 + 1,3(\text{Ni} + \text{Cr})\% + 6,5(\text{W} + \text{Mo} + \text{V})\%; \quad (4)$$

– для прессы 55 МН:

$$\rho_0 = 195 + 1,2(\text{Ni} + \text{Cr})\% + 6,0(\text{W} + \text{Mo} + \text{V})\%. \quad (5)$$

В общем виде зависимости (3–5) можно представить как:

$$\rho_0 = A + B(\text{Ni} + \text{Cr})\% + C(\text{W} + \text{Mo} + \text{V})\%. \quad (6)$$

Использование указанной зависимости (6) для осваиваемых и проектируемых прессовых установок с горизонтальными гидравлическими прессами позволяет определять проектный сортамент как по маркам сталей и сплавов, так и по типоразмерам горячепрессованных труб.

С этой целью на основе зависимостей (3–5), были решены системы уравнений (7–9), учитывающие следующие базовые технологические параметры для существующих прессовых установок: температура нагрева гильз, время охлаждения гильз за время вспомогательных операций и диаметр втулки контейнера.

$$\begin{aligned} 1. \quad & 1150x_1 + 37y_1 + 195z_1 = 200; \\ & 1200x_1 + 98y_1 + 195z_1 = 215; \\ & 1200x_1 + 125y_1 + 341z_1 = 195. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 2. \quad & 1150x_2 + 37y_2 + 195z_2 = 1,2; \\ & 1200x_2 + 98y_2 + 195z_2 = 1,3; \\ & 1200x_2 + 125y_2 + 341z_2 = 1,2; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} 3. \quad & 1150x_3 + 37y_3 + 195z_3 = 6,5; \\ & 1200x_3 + 98y_3 + 195z_3 = 6,5; \\ & 1200x_3 + 125y_3 + 341z_3 = 6,0. \end{aligned} \quad (9)$$

Решая системы уравнений (7–9) на примере прессовой установки 44 МН получена зависимость для экспертной оценки величины среднего нормального контактного напряжения, имеющая вид:

$$\rho_0 = (175 \div 190) + 1,15(\text{Ni} + \text{Cr})\% + 3,5(\text{W} + \text{Mo} + \text{V})\%. \quad (10)$$

Существующие прессовые установки силой прессования 20 МН, 31,5 МН, 55 МН и 44 МН отличаются друг от друга компоновкой и расположением оборудования, временем вспомогательных операций и др. По этой причине, зависимости для определения величины среднего контактного напряжения с помощью предлагаемого метода должны быть адаптированы для каждой прессовой установки. Определение базовых условий прессования также сложно, т. к. при освоении новых прессовых установок недостаточное количество статистических данных не позволяет рассматривать процесс при варьировании одного из температурно-деформационных параметров. С целью корректировки зависимости (10) с помощью методов математической статистики были обработаны результаты прессований труб 20 различных типоразмеров из 10 марок сталей и сплавов на прессовой установке 44 МН.

Сравнительный анализ расчетных и фактических данных, для прессовой установки усилием 44 МН, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ расчетных и фактических значений усилий P для прессы 44 МН

№ п/п	Марка сплава	D_t , мм	S_t , мм	D_c , мм	S_c , мм	$T_{под.}$	t , с	K_v	K_t	K_s	ρ_0 , МПа	$P_{факт.}$, МН	$P_{расч.}$, МН	откл., %
1	08X18H10T	133	4,5	228	44,5	1180	60	0,935	0,936	1,033	186	24,5	26,2	-6,8
2	UNS S 32760	168,3	11	286	61	1100	62	0,858	1,116	0,931	201	36	36,4	-1,2
3	ЭИ 943	159	8	286	63,5	1160	61	0,858	0,978	0,921	189	40,5	40,0	1,2
4	ЭИ 943	133	8	228	47	1160	63	0,935	0,978	1,012	226	26,3	27,1	-2,9
5	08X18H10T	159	6	286	61	1165	64	0,858	0,968	0,931	159	36	37,1	-3,0
6	08X18H10T	89	8	191	53,5	1160	61	1,000	0,978	0,968	195	18	18,0	-0,1
7	C1.4571	121	5	228	49,5	1190	60	0,935	0,916	0,993	183	27,5	27,5	-0,1
8	C1.4841	180	15	341	86	1180	65	0,802	0,936	0,859	147	36	37,6	-4,5
9	C1.4724	142	10	286	73,5	1070	60	0,858	1,068	0,888	114	23,6	23,2	1,6
10	UNS S 31803	95	9	191	51	1150	60	1,000	1,000	0,983	214	18	18,2	-1,1
11	TP304	57	6	171	56	1200	60	1,043	0,896	0,955	184	19	17,1	10,2

ВЫВОДЫ

На основе зависимостей, полученных с помощью методов математической статистики путем обработки результатов прессования более 30-ти труднодеформируемых сплавов на 3-х существующих прессовых установках, определены формулы для расчета базового значения среднего нормального контактного напряжения в зависимости от содержания легирующих элементов для любых осваиваемых и проектируемых прессовых установок с горизонтальными гидравлическими прессами, что позволяет определять проектный сортамент как по маркам сталей и сплавов, так и по типоразмерам горячепрессованных труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1973. – 224 с.
2. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М. : Металлургия, 1977. – 480 с.
3. Медведев М. И. Методика определения основных параметров прессования труб из труднодеформируемых сталей и сплавов / М. И. Медведев, Н. А. Беспалова, А. К. Царьков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 56–59.

Медведев М. И. – д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник ГП «НИТИ»;

Беспалова Н. А. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ГП «НИТИ»;

Панченко С. А. – директор по техн. и кач. ЧАО «Сентравис Продакшн Юкрейн»;

Захарченко А. П. – вед. инженер ЧАО «Сентравис Продакшн Юкрейн»;

Чекмарев В. В. – вед. инженер ЧАО «Сентравис Продакшн Юкрейн».

ГП «НИТИ» – государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности им. Я. Е. Осады», г. Днепрпетровск.

ЧАО «Сентравис Продакшн Юкрейн» – частное акционерное общество «Сентравис Продакшн Юкрейн», г. Никополь.

E-mail: michael.medvedev@rambler.ru