

УКД 621.74

И.Ч.Вербицкий (6 курс, каф. ФХЛСиП), В.М.Голод, к.т.н., проф.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСАДКИ СТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Одним из важных факторов, обеспечивающих создание рациональной технологии питания отливок, являются значения коэффициентов усадки, поскольку от точности этих величин зависит точность изготовления литейной оснастки, расход металла, уменьшение выпуска бракованных отливок. Имеющиеся литературные данные по этим величинам весьма ограничены и нередко плохо согласуются между собой, в основном - вследствие несовершенства или трудоемкости и сложности реализации применяемых методик их определения. Задача, ставившаяся в работе, предполагает статистический анализ и обобщение литературных данных о коэффициентах усадки сталей для того, чтобы в дальнейшем определение этих величин не занимало большого количества времени и средств, а сводилось к простым математическим операциям и отличалось приемлемой точностью. Полученные таким образом коэффициенты возможно использовать в компьютерном моделировании литейной технологии, что может существенно уточнить разработку технологии, соответственно, снизить расход металла, а следовательно, и затраты на изготовление отливки.

Связь между составом стали и коэффициентами усадки задавали с помощью линейных уравнений, которые для группы сталей различных марок образуют систему. Для решения системы использовали пакет Mathcad. В качестве исходных данных для расчетов были взяты результаты определения усадочных характеристик ряда литейных сталей из работы [1], где интересующие нас данные были получены методом  $\gamma$ -просвечивания, который является одним из наиболее информативных методов исследования физико-технологических свойств расплавов. Важно, что в работе [1], помимо интересующих нас характеристик ( $\varepsilon_{кр}$  - объемная усадка при затвердевании,  $\rho_L$ ,  $\rho_S$  - плотность металла при температуре ликвидуса и солидуса соответственно), приведен химический состав исследованных образцов, что существенно улучшает качество разрабатываемой модели.

Количество переменных в составляемых системах уравнений (компонентов стали) весьма велико, что может привести к получению коэффициентов регрессии с большой погрешностью. Для улучшения качества модели в составе сталей была выделена основная группа элементов, являющихся компонентами всех сталей (C, Si, Mn), и исключены из рассмотрения элементы, находящиеся в стали в малом количестве и не оказывающие значительного влияния на рассматриваемые коэффициенты.

Основу первой системы уравнений составили характеристики углеродистых сталей, для которых использовали уравнения вида:

$$\{\rho_L, \rho_S, \varepsilon_{KP}\} = x_0 + k_C \cdot C + k_{Si} \cdot Si + k_{Mn} \cdot Mn,$$

где  $x_0$  - коэффициент, учитывающий влияние основы сплава (Fe) и других примесей, не входящих в уравнение; C, Si, Mn - содержание элементов в стали;  $k_C$ ,  $k_{Si}$ ,  $k_{Mn}$  - коэффициенты, учитывающие их влияние.

Вторая система уравнений была сформирована для легированных сталей. В этой системе к набору основных элементов были добавлены Cr, Ni и Cu, поскольку их содержанием в сталях этого вида пренебрегать нельзя:

$$\{\rho_L, \rho_S, \varepsilon_{KP}\} = x_0 + k_C \cdot C + k_{Si} \cdot Si + k_{Mn} \cdot Mn + k_{Cr} \cdot Cr + k_{Ni} \cdot Ni + k_{Cu} \cdot Cu,$$

где  $Cr$ ,  $Ni$ ,  $Cu$  – содержание компонентов в стали;  $k_{Cr}$ ,  $k_{Ni}$ ,  $k_{Cu}$  – коэффициенты, учитывающие их влияние. Значения коэффициентов  $k_C$ ,  $k_{Si}$ ,  $k_{Mn}$  во второй системе были приняты известными по результатам решения первой системы.

Таблица 1. Значения коэффициентов регрессии для исследованных марок сталей/

	$x_0$	$k_C$	$k_{Si}$	$k_{Mn}$	$k_{Cr}$	$k_{Ni}$	$k_{Cu}$
$\rho_L, \text{г/см}^3$	6,799	0,200	0,134	-0,054	0,003	-0,024	0,248
$\rho_S, \text{г/см}^3$	7,043	0,300	0,277	-0,047	-0,008	-0,046	0,205
$\varepsilon_{KR}, \%$	3,300	2,2	0,723	-0,221	-	-	-

В результате расчетов, включавших данные по ряду литейных сталей (15Л, 25Л, 35Л, 45Л, 35ХМЛ, 35ХН2МЛ, 08ГДНФЛ, 08Г2ДНФЛ, 20ГСЛ, 06Х12НЗДЛ, 10Х12НДЛ, 110Г13Л), были получены данные, представленные в (табл. 1).

Сопоставление полученных расчетным путем коэффициентов усадки с независимыми литературными данными [2] показало, что погрешность по плотности составила около 3%, а интерполяционная погрешность уравнений не превышает 0,5%. Это говорит о том, что данная методика позволяет удовлетворительно описать влияние основных компонентов стали на величину усадочных характеристик.

Расчитанные значения коэффициентов, описывающих изменение плотности в жидком и твердом состоянии, свидетельствуют о том, что сильнее всего на плотность влияют С, Си и Si, увеличивая ее, а Mn, Cr и Ni влияют весьма слабо и снижают плотность. Сопоставление между собой коэффициентов для одинаковых компонентов говорит о том, что их значения хорошо согласуются друг с другом при различных агрегатных состояниях. Это указывает на надежность значений независимо определенных коэффициентов.

Опубликованные в последнее время литературные данные об экспериментальных значениях усадочных характеристик углеродистых [3] и высоколегированных сталей [4] аппроксимированы авторами с помощью уравнений, учитывающих влияние углерода и не содержащих других компонентов стали. Полученные нами уравнения свидетельствуют (см. табл. 1), что как в углеродистых, так и в легированных сталях влиянием кремния и меди на плотность и, соответственно, коэффициент объемной усадки, пренебрегать нельзя.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Басин А.С., Голод В.М., Ошурков А.Т. Термические и усадочные свойства некоторых литейных сталей. / Энергомашиностроение, 1986 г., № 7, с. 24-29.
2. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. М.:Металлургия, 1991. 160 с.
3. Mizukami H., Yamanaka A., Watanabe T. Prediction of density of carbon steels. / ISIJ Int., 2002, v. 42, p. 375-384.
4. Mizukami H., Shirai Y., Yamanaka A., Watanabe T. Prediction of density of stainless steels. / ISIJ Int., 2000, v. 10, p. 987-994.