

621.74(04) Челябинск ЧПИ - Библиотека
Б204

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер БАЛИНСКИЙ В. Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА УСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СЕРОМ
И БЕЛОМ ЧУГУНАХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ОТЛИВОК

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор
технических наук, профессор
В. П. ЧЕРНОБРОВКИН

Челябинск, 1966 г.

ЧПИ



ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

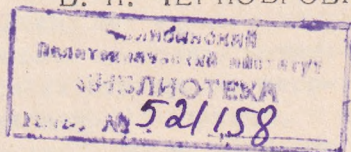
На правах рукописи

Инженер БАЛИНСКИЙ В. Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА УСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СЕРОМ
И БЕЛОМ ЧУГУНАХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ОТЛИВОК

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор
технических наук, профессор
В. П. ЧЕРНОБРОВКИН



Челябинск, 1966 г.

669.13(043)

Просим Вас и сотрудников Вашего института (учреждения), интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета по присуждению ученых степеней при Челябинском политехническом институте или прислать свой отзыв в двух экземплярах.

О дне и времени защиты за 10 дней будет опубликовано в газете "Челябинский рабочий".

Защита намечена на 23 мая 1966 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, проспект им. В. И. Ленина, 76, телефон 9-39-64.

Автореферат разослан "19 мая" 1966 г.

Ученый секретарь Совета доцент,
кандидат технических наук
П. Н. АМОСОВ

В В Е Д Е Н И Е

В директивах 23 съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966-1970 годы ставится задача коренного улучшения качества выпускаемой продукции. Чем выше качество продукции, тем эффективнее и производительнее весь общественный труд. Решение этой задачи зависит и от качества литых деталей.

Усадка сплавов - свойство, сильно влияющее на качество и размерную точность отливок. В настоящее время изучению усадочных явлений уделяется большое внимание. Этим вопросом занимались и занимаются советские ученые А. А. Бочвар, Н. Г. Гиршович, Ю. А. Нехендзи, Ф. Н. Тавалзе, Б. Б. Гуляев, А. Г. Сласский, Н. П. Дубинин, А. А. Рыжиков, К. И. Ващенко, В. И. Добаткин, Л. С. Константинов, Н. И. Ключнев и другие. Ряд работ проведено зарубежными исследователями (И. Пржибыл, Е. Пивоварский, И. Чикель, К. Николас, А. Фуллер, В. Паттерсон и другие).

Однако отдельные вопросы до сих пор изучены не в полной мере. Так не исследовано в достаточной степени влияние геометрических размеров отливки на её усадку, нет единого мнения о характере влияния формы на усадку отливок, о величине литейной усадки отливок из ферритного ковкого чугуна. Конкретно, например, очень важно знать литейные свойства чугунов для автомобильных отливок.

Предусадочное расширение отливок оказывает большое влияние на величину литейной усадки и усадочных дефектов, но по вопросу природы и причин расширения, а также его величины в литературе имеются противоречивые мнения и данные.

По новому пятилетнему плану предусматривается быстрое развитие автомобильной промышленности — выпуск грузовых автомобилей увеличится в 1,6–1,7 раза, легковых почти в 4 раза. Соответственно увеличится объем производства автомобильных отливок. Целью настоящей работы является исследование влияния технологических факторов на усадочные явления в автомобильных отливках, что даст возможность найти пути повышения их качества. В производстве имеют место периодические повышения величины усадочных дефектов в отливках, колебания в размерах отливок. Чтобы определить направления совершенствования технологии литья, уменьшающих такие колебания, необходимо знать качественное и количественное влияние технологических факторов на усадочные явления в отливках. Практика ставит такие вопросы и ждет их решения.

Основные задачи исследования:

1. Разработать методику определения на одном образце линейной усадки и объема усадочной раковины.
2. Исследовать влияние температуры заливки, геометрических размеров отливки и свойств литейной формы на этапы линейной усадки, объем усадочных раковин в отливках из серого и белого (для отжига на ковкий) чугунов.
3. Уточнить величину свободной литейной усадки отливок из ферритного ковкого чугуна.
4. Выяснить причины предусадочного расширения отливок из серого и белого чугунов.
5. Дать рекомендации по совершенствованию технологических процессов литья в сырые формы, обеспечивающих повышение качества отливок.

Обозначения, принятые в реферате:

- ϵ_p - предусадочное расширение (удлинение) отливок, %;
- $\epsilon_{д.пл.}$ - полная доперлитная усадка, %;
- $\epsilon_{л.}$ - литейная усадка - разница между длиной литейной формы и остывшей отливкой, %;
- $V_{к.р.}$ - объем концентрированных усадочных раковин, %;
- $V_p.$ - объем концентрированных усадочных раковин, изолированных раковин и пористости, %;
- δ - приведенная толщина отливки, равная отношению площади сечения к периметру, см;
- $t_z.$ - температура заливки, °С;
- W - весовая скорость заливки, кг/сек;
- B - содержание влаги в формовочной смеси, %.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные и производственные исследования проводились на чугунах, близких по химическому составу к серому и ковкому чугунам, применяемым в автомобильной промышленности:

Химический состав серого чугуна (марки СЧ 18-36), %

С	Si	Mn
3,1-3,4	2,0-2,5	0,5-0,8
Сг	Ni	Р
0,2-0,3	до 0,3	0,15-0,22
		S
		до 0,12

Химический состав белого чугуна, для отжига на ковкий марки КЧ 35-10, %

С	Si	Mn
2,4-2,7	1,1-1,3	0,3-0,45
Сг	Р	S
до 0,08	до 0,17	до 0,12

В работе первый состав условно именуется как чугун А, второй - Б.

Для исследования линейной усадки применялся прибор В. П. Чернобровкина. Разработана конструкция образца, на котором одновременно определялись линейная усадка и объем усадочных раковин. Для постоянства скорости заполнения формы ее заливали через чашу с диаметром отверстия 12 мм. Изменение скорости заливки достигалось установкой чаш с различными диаметрами отверстия. Сра-

зу после заливки отверстие в чаше перекрывалось чугунным конусом. Под чашей образовывалась концентрированная усадочная раковина, объем которой замерялся. Объем пористости рассчитывался по объемному весу всего образца и удельному весу плотной части. Объемные и удельные веса определялись взвешиванием в воде и на воздухе.

Усадочные явления изучались в чугунах, выплавленных в вагранке (чугун А) и дуплексе процессом (чугун Б) в литейных цехах Уральского автозавода, причем образцы заливались как в цехе, так и после переплава этого чугуна в лабораторной высокочастотной печи емкостью 50 кг. В каждом опыте заливалось четыре формы двух приборов, что обеспечивало хорошую сравнимость результатов. Температура металла замерялась платинородий - платиновой термопарой погружения. Степень уплотнения смеси стремились делать одинаковой - для этого применялась специальная кольцеобразная трамбовка.

В отливках из чугуна А определялся его химический состав, твердость, микроструктура, глубина отбела с торцов отливки, измерялись длина и диаметр образцов. В отливках из чугуна Б дополнительно исследовалась величина зоны рыхлоты, а вместо глубины отбела на специальных образцах диаметром 50 мм определялась склонность чугуна к выделению свободного углерода (по семибалльной шкале).

Для исследования расширения при нагреве формовочных материалов применялся тот же усадочный прибор. Для этого расстояние между пробками уменьшалось до 170 мм, а вместо опоки применялась трубка из кварцевого стекла (диаметром 31 мм) с нихромовым нагревателем и отверстием для термопары. В трубку засыпался испытуемый материал, расширение которого записывалось прибором.

2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА УСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОТЛИВКАХ

а) отливки из чугуна А

Исследовались главным образом отливки в виде брусков (образцов) диаметром 30 мм. Температура заливки чугуна, при постоянном его перегреве, менялась от 1150 до 1500°С. Формы изготовлялись из сырой формовочной смеси с влажностью 4,2-4,8%, пределом прочности на сжатие 0,40-0,65 кг/см² и газопроницаемостью 100-160 см⁴/г. мин.

Предусадочное расширение образцов колеблется в пределах 0,08-0,27%, причем при температуре заливки 1400-1450°С оно достигает максимума, а при дальнейшем повышении температуры (1500°С) несколько падает. Литейная усадка отливок изменяется в зависимости от величины предусадочного расширения - при температуре заливки 1160-1250°С она равна 0,95-1,1%, а при 1400-1450°С - 0,75-0,95%. Наибольшее влияние на величину литейной усадки оказывает изменение температуры заливки от 1300 до 1400°С, то есть в интервале, применяемом в производстве. Значительного изменения полной доперлитной усадки от температуры заливки не выявлено.

Объем усадочных раковин сильно зависит от температуры заливки. При низких температурах заливки (до 1250°С) отливки практически не имеют усадочных раковин. При повышении температуры заливки до 1400°С объем раковин сильно растет из-за усадки жидкого чугуна и увеличения предусадочного расширения. С дальнейшим ростом температуры увеличение объема усадочных раковин замедляется, видимо, ввиду уменьшения предусадочного расширения. Уравнение регрессии для

зависимости объема концентрированных усадочных раковин от температуры заливки:

$$V_{\text{к. р.}} = -72,63 + 0,1005 t_3 - 0,000034 t_3^2$$

Коэффициент корреляции $r = 0,82$ свидетельствует о высокой тесноте связи (корреляционное отношение для линии регрессии будет еще выше). Объем рыхлот в отливках из чугуна А незначителен — не более 0,05–0,3%.

С повышением температуры заливки меняется вид усадочных раковин. Чем выше температура заливки, тем больше конусность раковины и больше жидкой фазы, затвердевающей в последнюю очередь, выжимается в полость усадочной раковины.

Опыты показали, что с повышением температуры заливки глубина отбела чугуна А увеличивается. Температура заливки влияет также на величину эвтектического зерна — с понижением температуры заливки эвтектическое зерно размельчается. Обнаруживается связь между размером эвтектического зерна и глубиной отбела — с увеличением числа зерен отбел уменьшается. Таким образом, повышение температуры заливки, несмотря на уменьшение скорости охлаждения отливки, увеличивает глубину отбела; с другой стороны, повышение температуры заливки дает более крупное эвтектическое зерно, которое способствует большей склонности к отбелу. Можно предположить, что увеличение глубины отбела с повышением температуры заливки объясняется более крупным эвтектическим зерном, меньшим числом зародышей эвтектической кристаллизации при повышенных температурах заливки.

Величина эвтектического зерна и твердость неоднородны по сечению отливки. Наружные зоны (1–6 мм от поверхности) имеют более мелкое зерно и повышенную твердость. На расстоянии менее 1 мм от поверхности твердость несколько ни-

же. Среднее значение твердости максимально для отливок, залитых при 1300–1330°C, в этом интервале температур более высокие механические свойства отливок. Существенных различий в микроструктуре отливок, залитых при разных температурах, не выявлено.

Исследование влияния температуры заливки на усадку образцов диаметром 45 мм (сырые формы) и 30-мм (сухие стержневые формы) дало аналогичную зависимость, но в сухих формах температура заливки оказывает более слабое влияние на предусадочное расширение, литейную усадку и образцы не имели усадочных раковин.

В таблице 1 для примера даны результаты двух опытных плавов по исследованию влияния температуры заливки на усадку отливок диаметром 30 и 45 мм, залитых в сырые формы.

Таблица 1

Влияние температуры заливки на усадку отливок из чугуна А

Показатели	Отливки диаметром 30 мм. Химический состав, %: С 3,24; Si 2,38				Отливки диаметром 45 мм. Химический состав, %: С 3,22; Si 1,98		
	температура заливки, °С				температура заливки, °С		
	1300	1340	1400	1470	1280	1340	1550
$E_p, \%$	0,12	0,15	0,20	0,15	0,23	0,26	0,50
$E_{пл}, \%$	0,19	0,17	0,17	0,17	0,27	0,23	0,22
$E_n, \%$	0,89	0,85	0,79	0,84	0,87	0,81	0,56
$V_{кр}, \%$	0,34	1,1	1,5	1,3	1,05	1,7	2,1
$V_p, \%$	0,4	1,15	1,55	1,45	1,1	1,8	2,3

б) отливки из чугуна Б

Образцы диаметром 30 мм, отлитые из чугуна Б в сырые песчаные формы при температурах от 1250 до 1515°C, также имели предусадочное расширение, но его величина несколько меньше, чем у

отливок из чугуна А. С повышением температуры заливки предусадочное расширение непрерывно увеличивается. Уравнение регрессии зависимости предусадочного расширения от температуры заливки: $\epsilon_{р.} = -0,54 + 0,00047 t_3$, коэффициент корреляции $r = 0,875$.

Литейная усадка при повышении температуры заливки уменьшается с 1,8 до 1,5%:

$$\epsilon_{л.} = 3,02 - 0,00096 t_3, r = -0,93.$$

Полная доперлитная усадка, как и для отливок из чугуна А, почти не зависит от температуры заливки ($r = 0,042$).

Объем усадочных раковин растет с повышением температуры заливки. Уравнение регрессии, связывающее объем концентрированных усадочных раковин и температуру заливки, имеет вид:

$$V_{к. р.} = -4,54 + 0,00378 t_3, r = 0,955.$$

Объем рыхлот в отливках из чугуна Б составляет 1,9-2,5%. Уравнение зависимости общего объема раковин и рыхлот от температуры заливки:

$$V_{р.} = -3,92 + 0,0048 t_3.$$

Разницы в микроструктуре отливок, отлитых при различных температурах, не обнаружено. Твердость по сечению отливок меняется незначительно, максимальную твердость имеют отливки, залитые при 1350-1430°C.

Температура заливки оказывает аналогичное влияние на усадку отливок диаметром 45 мм.

С повышением температуры заливки чугуна Б в сухие формы предусадочное расширение увеличивается в меньшей степени, чем в сырые, заметно уменьшается также объем усадочных раковин.

В таблице 2 даны результаты двух опытов, взятых из серии плавок по исследованию влияния температуры заливки на усадку отливок, отлитых в сырые формы.

Таблица 2

Влияние температуры заливки на усадку отливок
из чугуна Б

Показатели	Отливки диаметром 30 мм, химический состав, %: С 2,63; Si 1,05			Отливки диаметром 45 мм, химический состав, %: С 2,54; Si 1,13			
	температура заливки, °С			температура заливки, °С			
	1350	1390	1510	1370	1450	1500	1550
$E_{\Sigma}, \%$	0,09	0,13	0,17	0,22	0,25	0,41	0,42
$E_{\text{доп}}, \%$	0,99	0,96	0,98	0,91	-	0,93	0,91
$E_{\text{л}}, \%$	1,75	1,68	1,62	1,50	-	1,38	1,38
$V_{\text{кр}}, \%$	0,2	0,5	1,64	1,05	1,78	2,25	2,50
$V_{\text{р}}, \%$	2,2	2,6	3,97	3,05	3,80	4,45	4,80

Заливка образцов чугуном А и Б с различной весовой скоростью показала, что с увеличением скорости заливки возрастает предусадочное расширение и несколько уменьшается литейная усадка.

3. ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОТЛИВКИ НА ЕЕ УСАДКУ

Изучались образцы различного диаметра - 20, 30, 45 и 60 мм, отлитые из одного ковша.

С увеличением толщины отливок предусадочное расширение возрастает в несколько раз, одновременно уменьшается полная доперлитная усадка. Увеличение предусадочного расширения и уменьшение доперлитной усадки пропорциональны квадрату приведенной толщины отливки, что указывает на зависимость этих величин от скорости охлаждения. Соответственно уменьшается литейная усадка.

Уравнения регрессии зависимости предусадочного расширения, полной доперлитной и литейной усадки от приведенной толщины δ (4δ равно диаметру отливки) имеют вид:

Для отливок из чугуна А

$$\varepsilon_{р.} = 0,03 + 0,21\delta^2, z = 0,956$$

$$\varepsilon_{дп. п.} = 0,25 - 0,041\delta^2, z = -0,45$$

$$\varepsilon_{л.} = 1,06 - 0,285\delta^2, z = -0,985$$

Для отливок из чугуна Б

$$\varepsilon_{р.} = 0,02 + 0,21\delta^2, z = 0,94$$

$$\varepsilon_{дп. п.} = 1,035 - 0,08\delta^2, z = -0,86$$

$$\varepsilon_{л.} = 1,88 - 0,29\delta^2, z = -0,90$$

Объем усадочных раковин измерялся у брусков диаметром 30 и 45 мм, одной из причин возрастания объема раковин при увеличении диаметра брусков можно считать изменение величины предудачного расширения.

В таблице 3 приведены результаты двух опытов из этой серии плавок.

Таблица 3

Влияние толщины отливки на ее усадку

Показатели	Чугун А, сырые формы				Чугун Б, сырые формы			
	С 3,41; Si 2,25				С 2,60; Si 1,20			
Диаметр отливки, мм	20	30	45	60	20	30	45	60
Температура заливки, °С	1380	1360	1340	1320	1480	1460	1450	1430
$\varepsilon_{р.}, \%$	0,05	0,18	0,32	0,53	0,05	0,12	0,31	0,38
$\varepsilon_{дп. п.}, \%$	0,28	0,20	0,14	0,13	1,0	0,97	0,95	0,89
$\varepsilon_{л.}, \%$	1,05	0,83	0,68	0,40	1,81	1,65	1,44	1,30
$V_{к. р.}, \%$	-	0,46	0,86	-	-	1,01	1,64	-
$V_{р.}, \%$	-	0,5	0,95	-	-	3,12	3,84	-

В описанной серии опытов формы были сырыми, а сила, сжимающая отливку с торцов, постоянной. В дополнительных опытах установлено, что и для сухих стержневых форм, а также при одинаковом удельном давлении на торцы отливок увеличение толщины оказывает аналогичное влияние на усадочные явления в отливках.

Для изучения влияния конфигурации сечения на усадку проводились опыты с брусками круглого сечения диаметром 45 мм, квадратного со стороной 40 мм и треугольного со стороной 61 мм. Площадь сечения во всех случаях была равной 16 см², а длина 630 мм. В таблицах 4 и 5 даны средние результаты опытов.

Таблица 4

Влияние конфигурации сечения отливки из чугуна А на ее усадку

Показатели	Конфигурация сечения		
	круг	квадрат	треугольник
$\epsilon_{р.}, \%$	0,31	0,23	0,175
$\epsilon_{л.}, \%$	0,67	0,79	0,81
$\gamma_{к. р.}, \%$	1,34	0,61	0,49

Таблица 5

Влияние конфигурации сечения отливки из чугуна Б на ее усадку

Показатели	Конфигурация сечения		
	круг	квадрат	треугольник
$\epsilon_{р.}, \%$	0,29	0,23	0,17
$\epsilon_{л.}, \%$	1,48	1,59	1,62
$\gamma_{к. р.}, \%$	3,63	3,0	2,51

С переходом от брусков треугольного сечения к квадратным и далее круглым предусадочное расширение увеличивается, а литейная усадка уменьшается, что можно объяснить более равномерным и медленным охлаждением круглых брусков по сравнению с квадратными и треугольными. Бруски круглого сечения имеют также больший объем усадочных раковин.

Для выяснения влияния длины отливки на ее линейную усадку сравнивались образцы диаметром 30 мм, длиной 360 и 630 мм, отлитые в сырые формы. Результаты опытов показали, что чем длиннее отливка, тем меньше предусадочное расширение и полная доперлитная усадка.

4. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ НА УСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОТЛИВКАХ

В предварительной серии опытов сравнивались усадочные явления в отливках из чугуна А и Б, отлитых в сухие стержневые формы (холодные и подогретые до 100°C), жидкостекольные после твердения углекислым газом, сырые и сырые с добавкой мелкой чугуновой стружки. Результаты опытов показали, что в зависимости от свойств формы предусадочное расширение и объем усадочных раковин сильно изменяются. Наибольшее предусадочное расширение имеют образцы, отлитые в сырые формы, причем увеличение охлаждающей способности сырых форм введением в смесь до 15% чугуновой стружки увеличивает предусадочное расширение. Снижение скорости охлаждения отливок в сухих и сухих подогретых стержневых формах уменьшает предусадочное расширение. Объем усадочных раковин максимален для отливок в сырые формы, минимален в сухие и занимает промежуточное положение для отливок в жидкостекольные формы.

Влияние сопротивления формы на предусадоч-

ное расширение отливок изучалось изменением величины грузов прибора, сжимающих отливку во время затвердевания. С повышением силы сжатия предусадочное расширение уменьшается: так, увеличение удельного давления на торцы образцов с 0,4-0,5 кг/см² до 2 кг/см² уменьшило предусадочное расширение отливок из чугунов А и Б в 2 раза. Уравнения регрессии зависимости предусадочного расширения образцов диаметром 30 мм от силы давления на торцы (Р кг):

$$\text{Для отливок из чугуна А } \epsilon_p = 0,215 - 0,01 \cdot P, \\ z = 0,817.$$

$$\text{Для отливок из чугуна Б } \epsilon_p = 0,206 - 0,0104 \cdot P, \\ z = 0,78.$$

Торможение предусадочного расширения отливок и отсутствие распора в жестких и прочных формах следует считать главными причинами меньшего объема усадочных раковин в таких отливках.

Чтобы в полной мере изучить влияние прочности формы на усадочные явления в отливках, проведена серия опытов, в которой при постоянных удельном давлении на торцы отливок и влажности формовочной смеси изменялось количество связующего — бентонита. Средние результаты опытов даны в таблице 6. Влажность смеси из песка 2К01А равнялась 5%, прочность на сжатие без добавки бентонита составляла 0,07, при 4% бентонита — 0,1 и при 12% — 0,5 кг/см².

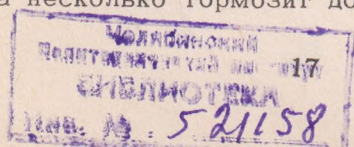
Таблица 6

Влияние бентонита в смеси на предусадочное расширение и объем усадочных раковин в отливках

Сплав	Диаметр образцов, мм	Добавка бентонита в смесь, %	$\epsilon_p, \%$	$V_{к.р.}, \%$	$V_p, \%$
Чугун А	30	0	0,18	0,47	0,50
		4	0,32	-	-
		12	0,39	1,23	1,27
Чугун Б	30	0	0,14	0,84	2,85
		4	0,24	-	-
		12	0,35	1,36	3,4
	45	0	0,245	-	-
		4	0,56	-	-
		12	0,56	-	-
Сталь 40 Л	30	0	0,02	-	-
		4	0,07	-	-
		12	0,20	-	-

С увеличением в смеси бентонита растут предусадочное расширение и объем усадочных раковин, уменьшаются литейная и полная доперлитная усадки.

Выявлен двойкий характер влияния прочностных свойств формы на предусадочное расширение отливок — увеличение сопротивления расширению уменьшает предусадочное расширение, а увеличение прочности формы за счет бентонита (глины), при постоянной силе сопротивления расширению с торцов отливки, увеличивает предусадочное расширение. Установлено, что сразу после заливки сырая формовочная смесь спекается с образованием корочки, чему способствует увеличение в смеси бентонита. Можно предполагать, что эта корочка способствует увеличению предусадочного расширения и что свойства формы играют значительную роль в его образовании. Вероятно спекшаяся корочка несколько тормозит доперлитную усадку.



Исследовалась также зависимость усадки отливок от влажности сырой формовочной смеси с одинаковым содержанием глины. Уравнения регрессии зависимости предусадочного расширения, литейной усадки и объема усадочных раковин от влажности формовочной смеси:

$$\text{Для отливок из чугуна А} \\ \varepsilon_{р.} = 0,089 + 0,0307 B, \quad \varepsilon = 0,88.$$

$$\varepsilon_{л.} = 1,14 - 0,0615 B, \quad \varepsilon = -0,8$$

$$V_{к. р.} = 0,2 + 0,186 B, \quad \varepsilon = 0,56 \text{ (углерода} \\ \text{3,28 - 3,36\%)}.$$

Для отливок из чугуна Б

$$\varepsilon_{р.} = -0,051 + 0,04 B, \quad \varepsilon = 0,79.$$

$$\varepsilon_{л.} = 1,72 - 0,0323 B, \quad \varepsilon = -0,65$$

$$V_{р.} = 1,62 + 0,27 B, \quad \varepsilon = 0,66.$$

Повышение влажности формовочной смеси с 3 до 7% увеличило предусадочное расширение отливок из чугуна А с 0,18 до 0,32%, а отливок из чугуна Б при повышении влажности с 4 до 8% - с 0,10 до 0,27%. Литейная усадка отливок при этом соответственно уменьшается. Объем усадочных раковин при указанном повышении влажности увеличивается более чем на 1%. С ростом влажности смеси заметно увеличивается скорость охлаждения отливок и скорость предусадочного расширения, а продолжительность расширения почти не меняется. Увеличение скорости предусадочного расширения можно объяснить быстрым образованием и тепловым расширением твердой корочки (оболочки) отливки при повышенной влажности формы.

Указанные зависимости выявлены на отливках диаметром 30 мм, аналогичные результаты получены и для образцов диаметром 45 мм.

5. О ПРИЧИНАХ ИЗМЕНЕНИЯ ПРЕДУСАДОЧНОГО РАСШИРЕНИЯ ОТЛИВОК

Величина литейной усадки и усадочных дефектов в отливках связаны с величинами предусадочного расширения и доперлитной усадки. Поэтому раскрытие причин, вызывающих изменение предусадочного расширения и доперлитной усадки, имеет большое научное и практическое значение.

Из результатов анализа проведенных исследований следует, что отливки из чугуна Б имеют предусадочное расширение, приближающееся по величине для отливок из чугуна А, причем наблюдается значительное влияние толщины отливки на величину предусадочного расширения. Это подтверждает выводы Н. Г. Гиршовича*, что эвтектический графит в сером чугуне выделяется из расплава ($\beta = 1$) и увеличение объема жидкого расплава влияет слабо на расширение затвердевающей корки. Предусадочное расширение образцов из белого чугуна диаметром 60 мм достигало в отдельных случаях 0,6%, что нельзя объяснить термическим расширением оболочки отливки и газами, так как величина предусадочного расширения по этим причинам не более 0,2%.

Увеличение влажности и содержания бентонита в формовочной смеси значительно увеличивает предусадочное расширение отливок. Если более влажная смесь повышает скорость охлаждения и может способствовать термическому расширению оболочки отливки, то влияние глины нельзя объяснить термическим расширением, графитизацией или сопротивлением расширению. Поэтому было сделано предположение, что материал формы должен оказывать влияние на величину предусадочного расширения.

*Н. Г. Гиршович. "Литейное производство" № 2, 1961 г.

Влияние материала формы на усадку отливок подвергалось тщательному изучению — для этого исследовалась усадка отливок диаметром 30 мм в формах из кварцевого песка 2К01А, шамотного порошка и зернистого дистен-силлиманиста, снимались также кривые расширения этих материалов при нагреве. Средние результаты несколько раз повторенных опытов даны в таблицах 7 и 8.

Таблица 7

Влияние материала формы на усадку отливок

Показатели	Материал формы		
	дистен-силлиманит и 4-5% бентонита	шамотный порошок	песок 2К01А и 4-5% бентонита
Ч у г у н А			
$\epsilon_{р.}^{\%}$	0,18	0,10	0,355
$\epsilon_{л.}^{\%}$	0,95	1,0	0,71
Продолжительность предусадочного расширения, мин.	2,3	2,7	3,0
Скорость предусадочного расширения, % в мин.	0,08	0,037	0,11
Время охлаждения от начала усадки до эвтектоидного превращения, мин.	8,0	10,4	11,6
$\gamma_{к.р.}^{\%}$	0,28	0,06	0,98
Ч у г у н Б			
$\epsilon_{р.}^{\%}$	0,15	0,08	0,35
$\epsilon_{л.}^{\%}$	1,65	1,67	1,34
Продолжительность предусадочного расширения, мин.	1,6	2,9	2,7
Скорость предусадочного расширения, % в мин.	0,093	0,029	0,138
Время охлаждения от начала усадки до эвтектоидного	8,5	14,7	13,5
$\gamma_{р.}^{\%}$	3,75	3,5	4,5

Таблица 8

Увеличение длины столба сухих материалов
при нагреве до 900°C

Материал	Увеличение длины, %
Дистен - силлиманит	0,265
Шамотный порошок	0,175
Кварцевый песок 2К01А	1,1

Эти опыты свидетельствуют о влиянии материала формы на предусадочное расширение и, следовательно, на литейную усадку и объем усадочных раковин. Большее предусадочное расширение показали отливки, залитые в формы из кварцевого песка, имеющего при нагреве превращение с увеличением объема.

Предполагается следующий механизм предусадочного расширения по этой причине. Сразу после заливки слой формовочной смеси, прилегающий к отливке, начинает расширяться. Л. С. Константинов считает, что в первое время корка затвердевающего металла как бы наклеена на поверхность формы и не может сокращаться. Можно считать, что корка под давлением жидкости и сил сцепления будет следовать за расширением формы и вызывать предусадочное расширение (удлинение). Таким образом величина предусадочного расширения в результате расширения формы должна зависеть от следующих факторов:

- а) величины теплового расширения формовочных материалов;
- б) прочности расширяющегося слоя формовочных материалов. Добавка в кварцевый песок бентонита или глины повышает прочность слоя за счет спекания и способствует расширению;
- в) сил сцепления отливки и формы;

г) сил сцепления расширяющегося слоя формовочных материалов с неразогретыми слоями формы. Чем меньше эта сила, тем больше предусадочное расширение, что имеет место при сырых формах;

д) времени образования и прочности твердой корочки металла, скорости затвердевания. Совпадение времени теплового расширения песка с низкой прочностью затвердевающего слоя металла, раннее образование корочки и длительное затвердевание будут увеличивать предусадочное расширение.

Кроме этой причины предусадочного расширения, нами высказано предположение, что в его образовании участвует кристаллизационное давление. Как показали исследования В. Я. Хаимова-Малькова, при кристаллизации расплавов имеет место кристаллизационное давление, достигающее десятков $\text{кг}/\text{см}^2$. По предположению Д. П. Иванова это явление имеет место при кристаллизации чугуна. Кристаллизационное давление может привести к деформации оболочки отливки, вызывая взаимное отталкивание растущих кристаллов через примеси и неупорядоченные частицы на их границах, в результате чего длина отливки увеличится, т. е. образуется предусадочное расширение. Опыты показали, что при образовании моста из затвердевшего цинка между двумя стальными пластинками, погруженными в расплав, расстояние между ними увеличивается на 1%. Однако это явление, как причина предусадочного расширения, требует специального исследования.

Специальные и рядовые опыты подтвердили, что предусадочное расширение отливок протекает главным образом во время затвердевания — то есть в тот период, когда на первоначально образующуюся оболочку отливки возможно воздействие графитизации, расширяющегося слоя формовочных материалов, термического расширения и кристаллизационного давления.

А. Г. Спасский* указывал, что следует различать усадку сплава от усадки отливки из этого сплава. Результаты исследования показывают, что предусадочное расширение, как один из этапов линейной усадки, является свойством отливки и зависит не только от металла, но и от формы, ее размеров и других технологических факторов.

6. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПРЕДУСАДОЧНОГО РАСШИРЕНИЯ И ЛИТЕЙНОЙ УСАДКИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Известны формулы Н. Г. Гиршовича для определения предусадочного расширения и литейной усадки отливок от химического состава, графитизации и некоторых других факторов. В дополнение к этому полученные нами опытные данные позволяют дать количественную зависимость предусадочного расширения и свободной литейной усадки от технологических факторов конкретно для автомобильных отливок. Вывод формул сделан с помощью математической статистики, для узких пределов изменения аргументов.

Технологические факторы воздействуют, главным образом, на ϵ_p и $\epsilon_{л.п.}$. Увеличивают предусадочное расширение, повышение температуры заливки, увеличение толщины отливки и уменьшение ее длины, увеличение влажности формовочной смеси. Прочность формы препятствует ϵ_p , пропорционально $b \cdot \delta$, или отношению силы сопротивления расширению к периметру отливки. Полная доперлитная усадка увеличивается с ростом скорости охлаждения (механизм влияния скорости охлаждения на линейную усадку описан В. И. Добаткиным) и уменьшением длины отливки.

*А. Г. Спасский. Основы литейного производства, Металлургиздат, 1950 г.

Формулы применимы для отливок типа брусков из чугунов А и Б в сырых формах, влажностью 3-8%, прочностью на сжатие 0,2-0,8 кг/см², при температуре заливки 1200-1450°C (чугун А), 1250-1520°C (чугун Б), скорости заливки 0,2-0,8 кг/сек. с приведенной толщиной стенки 0,5-1,5 см.

Формулы для расчета предусадочного расширения отливок:

Чугун А

$$\varepsilon_p = K_9 (0,0007 t_3 - 0,21 \delta^2 + 0,03 B + 0,3 W - 0,116 \cdot \delta - 1,12).$$

Чугун Б

$$\varepsilon_p = K_9 (0,0005 t_3 + 0,21 \delta^2 + 0,04 B + 0,3 W - 0,116 \cdot \delta - 1,01).$$

Формула для расчета литейной усадки отливок из чугуна Б:

$$\varepsilon_A' = 2,86 - 0,0005 t_3 - 0,24 \delta^2 - 0,04 B - 0,3 W + 0,116 \delta$$

Формула для литейной усадки отливок из ковкого чугуна:

$$\varepsilon_A'' = 2,86 - 0,0005 t_3 - 0,24 \delta^2 - 0,04 B - 0,3 W + 0,116 \cdot \delta + 0,44 C_0 - 0,67 \cdot C_r,$$

где:

B - прочность на сжатие формовочной смеси, кг/см²

K_D - коэффициент, учитывающий длину отливки.

$K_D = 1$ для длины 500-700 мм, $K_D = 1,2$ для длины 200-400 мм.

C_r - содержание графита в отожженной отливке, %.

C_0 - обезуглероживание при отжиге, %.

7. ЛИТЕЙНАЯ УСАДКА ОТЛИВОК ИЗ ФЕРРИТНОГО КОВКОГО ЧУГУНА И ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ФОРМЫ НА КАЧЕСТВО ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТЛИВОК

Для установления литейной усадки отливок из ферритного ковкого чугуна определялся рост при отжиге, который для исследуемого химического

состава и условий отжига находился в пределах 1,45 - 1,82%. Соответственно литейная усадка образцов из ферритного ковкого чугуна составила: Диаметр 20 мм от -0,1 до -0,5% (усадка). Диаметр 30 мм от -0,2 (усадка) до +0,25% (рост). Диаметр 45 мм от 0 до +0,5% (рост).

Измерение производственных отливок дало аналогичные результаты:

Толщина стенки отливки, мм	Усадка (-) или рост (+), %
8 - 15	от -0,4 до +0,5
Более 20 (до 40)	от +0,3 до +0,7

Рекомендуется припуск на усадку отливок из ферритного ковкого чугуна в сырых формах, содержащего 2,45 - 2,7%С, при толщине стенок (28) менее 20 мм назначать 0,5%, а при толщине 20-35 мм модели изготавливать по простому метру. Более точно свободную усадку отливок можно определить по приведенной выше формуле. Многие заводы, производящие отливки из ферритного ковкого чугуна, назначают припуск на усадку 1%, поэтому принятие указанных припусков даст экономию металла и повысит точность отливок.

Наблюдение за производственными отливками из чугунов А и Б показало, что повышенная влажность формовочной смеси и слабая набивка форм приводит к увеличению усадочных дефектов.

Опыты на отливках коленчатого вала из высокопрочного чугуна в жидкостекольные (с твердением углекислым газом) и сухие стержневые формы дали значительно большие усадочные раковины в первом случае.

На величину усадочных дефектов в отливках из чугуна А, как показали производственные наблюдения, сильное влияние оказывает содержание углерода.

Материалы с малым тепловым расширением опробованы для точных видов литья. В литье по

выплавляемым моделям применение молотого дистен-силлиманита для лицевого слоя покрытия уменьшило брак по его отслоению, улучшило чистоту поверхности отливок.

ВЫВОДЫ

1. С повышением (до определенного предела) температуры заливки увеличивается предусадочное расширение отливок из серого и белого чугунов. Соответственно уменьшается литейная усадка. Объем усадочных раковин увеличивается с повышением температуры заливки.

Повышение температуры заливки отливок из серого чугуна увеличивает глубину отбела, несмотря на уменьшение скорости охлаждения, что, видимо, связано с уменьшением числа эвтектических зерен.

2. Повышение скорости заливки увеличивает предусадочное расширение отливок и уменьшает литейную усадку.

3. При увеличении диаметра образцов из серого и белого чугунов с 20 до 60 мм предусадочное расширение возрастает в несколько раз, увеличивается продолжительность расширения при постоянной его скорости. С увеличением диаметра отливок уменьшаются литейная и полная доперлитная усадка, увеличивается объем усадочных раковин.

Конфигурация сечения отливки влияет на ее усадку. При сравнении усадки отливок в виде брусков круглого, квадратного и треугольного сечений установлено, что наибольшее предусадочное расширение и объем усадочных раковин имеют круглые бруски, наименьшее — треугольные. Соответственно изменяется литейная усадка.

С увеличением длины отливок из серого и бе-

лого чугунов предусадочное расширение и полная доперлитная усадка уменьшаются.

4. Свойства литейной формы из кварцевого песка (прочность, влажность, охлаждающая способность, вид связующего) оказывают сильное влияние на усадочные явления в отливках.

Повышение прочности формы оказывает сопротивление предусадочному расширению по наружным габаритам отливки, уменьшает предусадочное расширение и объем усадочных раковин. При увеличении прочности сырой формы за счет глины (бентонита), при постоянной силе сопротивления формы расширению отливки, предусадочное расширение и объем усадочных раковин растут, что вероятно связано с влиянием корочки спекшейся формовочной смеси.

Чем выше влажность формы, тем больше предусадочное расширение, меньше литейная усадка и больше объем усадочных раковин. Колебание влажности формовочной смеси в пределах 4-6% изменяет литейную усадку на 0,1%.

5. Выявленные зависимости позволили установить количественную связь этапов линейной усадки отливок из серого и белого чугунов с технологическими факторами.

6. Расширяющиеся от нагрева расплавленным металлом формовочные материалы воздействуют на поверхностный слой затвердевающей отливки и вызывают расширение (удлинение) оболочки отливки. Кварцевый песок, обладающий при нагреве большим увеличением объема, может вызвать значительное предусадочное расширение.

Материалы с малым тепловым расширением (например, зернистый и пылевидный силлиманит) рекомендуются для получения качественных отливок из чугуна и стали.

7. Предусадочное расширение является свойством отливки и зависит не только от металла, но

и от формы, её размеров и других технологических факторов.

8. Для обеспечения высокого качества и точности отливок из серого и ковкого чугунов необходима стабильность свойств формовочной смеси, плотности набивки форм и узкие пределы по температуре заливки.

9. Литейная усадка отливок из ферритного ковкого чугуна в сырых формах, содержащего 2,45–2,70% С, колеблется в зависимости от толщины стенки отливок, свойств формы, температуры заливки от $-0,5\%$ (усадка) до $+0,7\%$ (рост). Припуск на усадку отливок из ферритного ковкого чугуна следует назначать $0,5\%$ для отливок с толщиной стенки до 20 мм, при большей толщине стенок модели изготавливать по простому метру.

Выводы настоящей работы получены в результате изучения усадки более 1000 опытных и производственных отливок.

Материалы диссертации были доложены на одиннадцатом совещании по теории литейных процессов "Литейные свойства металлов и сплавов" (январь 1965 г., г. Москва); технической конференции "Члены НТО в техническом прогрессе литейного производства Уральского автозавода" (октябрь 1965 г., г. Миасс); научно-технической конференции "Современные прогрессивные технологические процессы получения высококачественных отливок" (январь 1966 г., г. Свердловск).

Основное содержание работы опубликовано в следующих изданиях:

1. Балинский В. Р. Влияние литейной формы на усадочные явления в чугунных отливках. "Литейное производство" № 12, 1964 г.

2. Балинский В. Р., Чернобровкин В. П. Влияние геометрических размеров чугунной отливки простой конфигурации на ее усадку. "Литейное производство" № 4, 1965 г.

3. Балинский В. Р., Чернобровкин В. П. Зависимость усадки и структуры чугунной отливки от температуры и времени заливки. "Литейное производство" № 7, 1965 г.

4. Балинский В. Р., Чернобровкин В. П. "Влияние свойств сырой формы на усадку чугунных отливок. "Литейное производство" № 2, 1966 г.

5. Балинский В. Р., Чернобровкин В. П. Усадка серого и белого чугунов для автомобильных отливок. Литейные свойства металлов и сплавов. Тезисы докладов 11 совещания по теории литейных процессов. Москва, 1965 г.

6. Балинский В. Р., Чернобровкин В. П. Роль кристаллизационного давления в образовании предусадочного расширения отливок. "Литейное производство" (в печати будет опубликовано в № 6-7).