

Доктор К. МУШНА, HWS, Германия

ВАКУУМНЫЙ ФОРМОВОЧНЫЙ ПРОЦЕСС – ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК

Вакуумный формовочный процесс (V-процесс), изобретенный в Японии в 1971 г., – один из самых молодых способов изготовления отливок. С момента изобретения V-процесса исследования и усовершенствование с целью его применения для серийного производства не прекращались. Более чем 30-летний опыт показал высокую эффективность этого способа формовки для получения отливок из черных и цветных сплавов.

Впервые возможности вакуума были продемонстрированы еще в 1654 г. Отто фон Герике при помощи так называемых «магдебургских полусфер». После того как из данных «полусфер» был удален воздух, 16 лошадей не смогли отделить их друг от друга (рис. 1).

Основной характеристикой V-процесса является использование сухого кварцевого песка без связующего, а также тонкой пластичной пленки при пониженном давлении от 0,3 до 0,6 бар.

Отливки, полученные с помощью V-процесса, имеют прежде всего высокое качество повер-

хности и большую размерную точность. При определенных условиях возможен также отказ от необходимого уклона на модели. Другими преимуществами данного процесса являются:

- отсутствие износа модели;
- возможность изготовления тонкостенных отливок;
- минимальные заусенцы либо их полное отсутствие на отливке;
- низкие затраты на зачистку;
- высокая экологичность.

Сущность V-процесса заключается в следующем. На закрытую камеру, из которой в дальнейшем удаляется воздух (так называемый вакуумный ящик), устанавливается модель. Над натянутой на раму термопластичной пленкой (модельной пленкой) находится нагревательное устройство. Подогретая и вследствие этого эластичная пленка опускается на модель. В подмодельной плите задается пониженное давление 0,5–0,6 бар. Пленка натягивается на модель, повторяя ее контуры.

Затем на пленку наносится противопопригарная краска. Двухстенная, оснащенная вакуумными трубами и всасывающими окнами (с внутренней стороны), опока опускается на модельную оснастку. Опока наполняется обычным сухим песком без связующего. Контрлад полуформы покрывается вакуумной пленкой. Песок уплотняется между двумя слоями пленки за счет пониженного атмосферного давления (или вакуума). После отключения вакуума в подмодельной плите часть формы, с обеих сторон «закрытая» пленкой и далее удерживаемая пониженным давлением, снимается с модельной оснастки. Нижняя полуформа изготавливается и поворачивается аналогичным образом. Про-

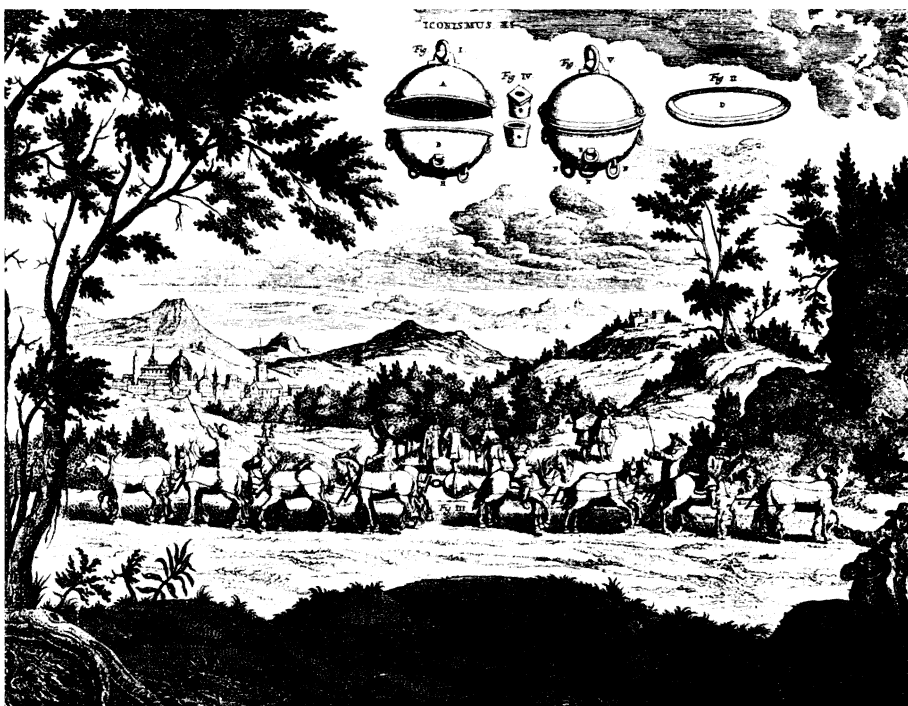


Рис.1. Магдебургские полусферы

ставляются необходимые стержни. Готовая форма собирается из отдельно изготовленных полуформ. Пониженное давление (вакуум) поддерживается в форме в процессе ее заливки и на начальном этапе затвердевания жидкого металла. При заливке пленка испаряется либо сгорает под влиянием заливаемого металла. Под воздействием вакуума продукты деструкции пленки проникают в форму и вместе с частицами песка образуют тонкую оболочку, которая упрочняет граничный слой формы. Это наряду с противопригарным покрытием обеспечивает получение отливок с высокой чистотой поверхности, что не требует дополнительных затрат на финишные операции очистки отливок. Для выбивки опоки вакуум отключается, песок из нее высыпается, а отливка освобождается для дальнейшей транспортировки.

Размерная точность отливок достигается путем соблюдения следующих основных технологических параметров вакуумной технологии: использование мелкозернистого отсортированного формовочного песка; достижение высокой равномерной степени уплотнения песка; отсутствие износа модельной оснастки; отсутствие в большинстве случаев необходимого уклона; отсутствие изменения размеров формы из-за улетучивающихся добавок формовочного материала.

В результате этого обеспечиваются размерная точность и постоянство массы отливок больших размеров и сложных геометрических форм. Кроме того, обеспечивается высокая степень воспроизводимости при серийном производстве, от партии к партии не наблюдается каких-либо различий. В качестве исходного значения для размерной точности может быть задано около $\pm 0,3\%$.

Примером может служить стол фрезерного станка (рис. 2), размеры которого составляют 1250x803x143 мм. В табл. 1 приведены результаты измерения 10 отливок и их сравнение с нормами точности GTB 15 (в соответствии с DIN 1686 GTB 15 представляет собой самый узкий общий допуск для чугуна с пластинчатым графитом). При длине 1250 мм статистический разброс результатов составляет 0,8 мм, что соответствует 0,06%. Согласно GTB 15, для этого номинального размера поле допуска достигает 4,4 мм. При ширине отливки 803 мм статистический разброс составляет 1,6 мм = 0,2% (по GTB 15 возможно 4 мм). При высоте 143 мм максимальное отклонение составляет 1,3 мм, в то время как по GTB 15, возможно отклонение 2,6 мм.

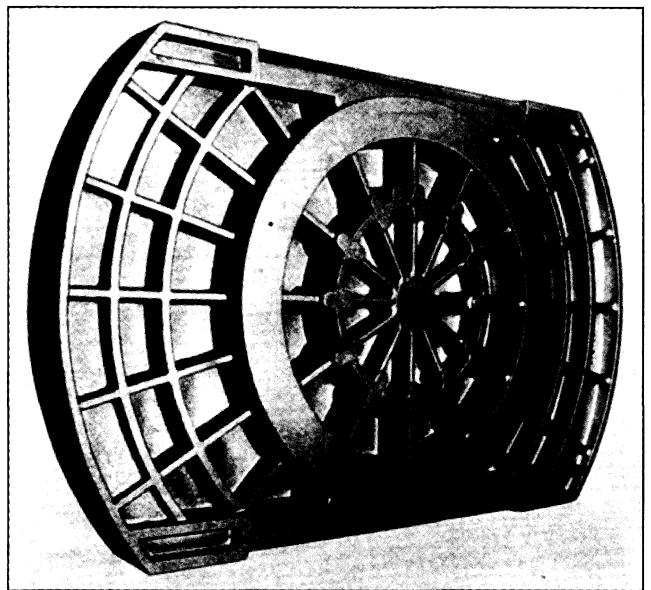


Рис. 2. Стол фрезерного станка

Таблица 1. Масса и размеры 10 отливок стола фрезерного станка, изготовленных вакуумным способом

Номер отливки	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
1	561,5	1250,3	805,2	143,3
2	560,0	1249,7	804,7	144,3
3	557,5	1250,5	804,3	142,2
4	561,0	1250,1	804,3	142,3
5	558,0	1250,3	804,4	142,5
6	562,5	1249,9	804,4	142,0
7	557,0	1249,8	804,2	142,2
8	561,5	1250,0	804,5	142,8
9	562,0	1250,3	804,5	142,6
Расчетный размер		1250,0	803,0	143,0
Наибольшее значение X_{\max}	562,5	1250,5	805,2	144,3
Наименьшее значение X_{\min}	557,0	1249,0	803,6	142,0
Среднее значение X	559,9	1250,1	804,4	142,7
Стандартное отклонение S	2,08	0,27	0,40	0,69
Статистический разброс R	5,5	0,8	1,6	2,3
	=0,98%	=0,06%	=0,20	=1,61%
Допустимое поле допуска в соответствии с DIN 1686 GTB 15		4,4	4,0	2,6

Параллельные стенки (борта платформы) являются характерным признаком канатного барабана (рис. 3), изготовленного из ВЧ40,3. Они располагаются вертикально направлению желобов и отливаются с помощью V-процесса без конусности. В табл. 2 приведены результаты измерения диаметра и расстояния между бортами платформы. При допустимом отклонении 3,8 мм (согласно GTB 15) для размера 790 мм (расстояние между стенками платформы) этот показатель на практике составляет 1,3 мм, что почти в 3 раза ниже предельно допустимого отклонения. Аналогичные результаты получены и для отклонения размеров диаметра барабана.



Рис. 3. Канатный барабан (масса 280 кг)

Таблица 2. Размеры 15 отливок канатного барабана, изготовленных вакуумным способом

Номер отливки	Расстояние между стенками платформы, мм	Диаметр стенок барабана, мм
1	789,7	650,5
2	789,7	651,5
3	790,5	650,4
4	789,8	652,0
5	790,6	651,4
6	791,0	650,0
7	790,4	650,2
8	790,1	650,4
9	790,7	651,2
10	790,2	651,5
11	790,3	651,5
12	790,2	651,0
13	790,0	651,2
14	790,1	651,3
15	789,7	652,0
Расчетный размер	790,0	650,0
Наибольшее значение X_{max}	791,0	652,0
Наименьшее значение X_{min}	789,7	650,0
Среднее значение X	790,2	651,1
Стандартное отклонение S	0,39	0,63
Статистический разброс R	1,3	2,0
	=0,17%	=0,31%
Допустимое поле допуска в соответствии с DIN 1685 GTB 15	3,8	3,8

Более крупные габаритные размеры и массу имеют балки моста грузовых автомобилей, изготавливаемые из высокопрочного чугуна марок ВЧ 40 и ВЧ 40-3 (рис. 4). Результаты измерения 15 балок моста, изготовленных вакуумным способом, приведены в табл. 3. При средней длине отливки около 1614 мм разница между самой большой и самой малой величиной составляет лишь 2 мм, что соответствует полю допуска 0,12% (по GTB 15 допускается 5 мм). Аналогичные результаты получены и при анализе других габаритных размеров отливки (ширины и высоты). Практика показала, что подобная стабильно высокая размерная точность отливок, полученных V-процессом, позволяет приблизительно на 6–7% снизить их массу по сравнению с аналогичными

отливками, изготовленными в песчано-глинистых формах.

На рис. 5–8 приведены примеры отливок, изготавливаемых в настоящее время с помощью V-процесса. Особенно ярко преимущества V-процесса в отношении получения отливок с высокой размерной точностью и качеством поверхности можно проследить на примере изготовления отливок с изогнутыми функциональными поверхностями, которые не должны подвергаться последующей механической обработке. Наиболее характерной такого рода отливкой является лопасть вентилятора (рис. 9), при производстве которой при средней массе отливки 75 кг отклонение не превышает +/-150 г, что составляет 0,2%. Аналогичными являются и отклонения геометрических

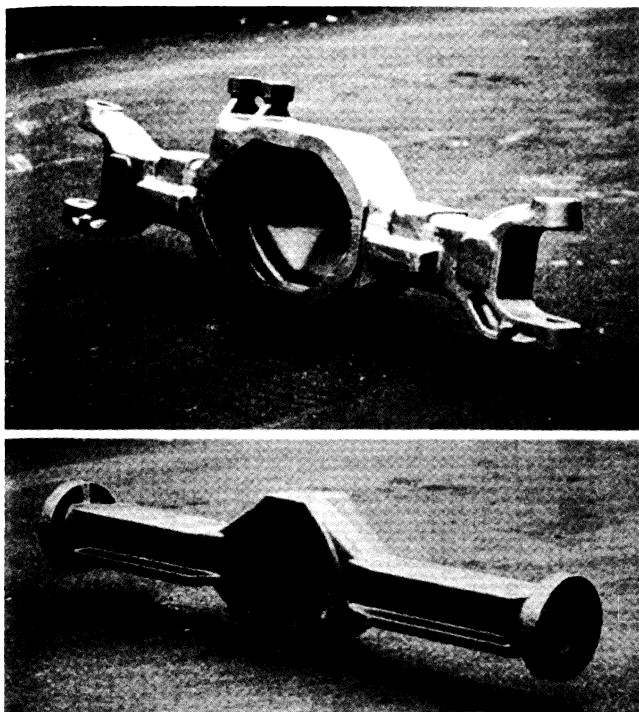


Рис. 4. Балки моста

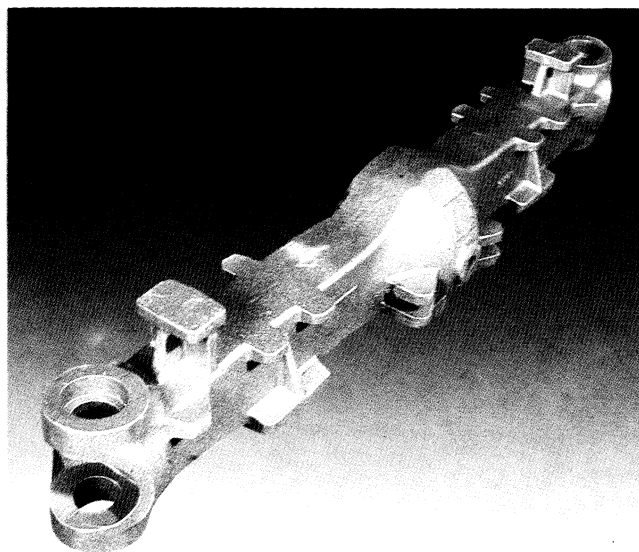


Рис. 5. Ось моста грузового автомобиля. Материал – ВЧ 40, масса – 190 кг

Таблица 3. Масса и размеры 15 балок моста грузовых автомобилей, изготовленных вакуумным способом

Номер балки	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
1	149,5	1615,0	182,3	386,0
2	150,0	1614,0	182,3	385,3
3	150,0	1614,0	182,1	385,6
4	151,0	1613,5	182,7	385,3
5	150,0	1614,0	181,5	384,9
6	152,0	1613,5	181,6	385,4
7	150,0	1613,0	182,4	385,4
8	151,0	1614,0	181,6	385,3
9	150,0	1614,0	181,7	384,7
10	150,0	1614,0	181,7	384,7
11		1614,0	181,6	385,6
12		1614,0	182,4	385,6
13		1613,0	181,7	384,9
14		1614,0	181,9	384,3
15		1613,5	181,8	384,9
Наибольшее значение X_{max}	152,0	1615,0	182,7	386,0
Наименьшее значение X_{min}	149,5	1613,8	181,5	384,3
Среднее значение X	150,5	1613,8	182,0	385,2
Стандартное отклонение S	0,81	0,49	0,38	0,43
Статистический разброс R	2,5	2,0	1,2	1,7
	=1,66%	=0,12%	=0,66%	=0,44%
Допустимое поле допуска в соответствии с DIN 1686 GTB 15		5,0	2,8	3,2

размеров. Это позволяет такую отливку практически без дополнительной механической обработки использовать по своему прямому назначению как лопасть промышленного вентилятора.

Основными преимуществами V-процесса являются.

Литье без конусности

В отличие от отливок, изготавливаемых по обычным технологиям, при V-процессе можно по крайней мере частично отказаться от уклона мо-

дели. Благодаря переключению пониженного давления в процессе производства песчаных форм между моделью и пленкой практически не возникает сопротивления трению, что позволяет модели с нулевым уклоном легко извлекаться из формы. Примером такого «бесконусного» исполнения может служить отливка «барабан» (см. рис. 3).

Высокое качество поверхности

Используемые формовочные материалы и специальный производственный процесс при изго-

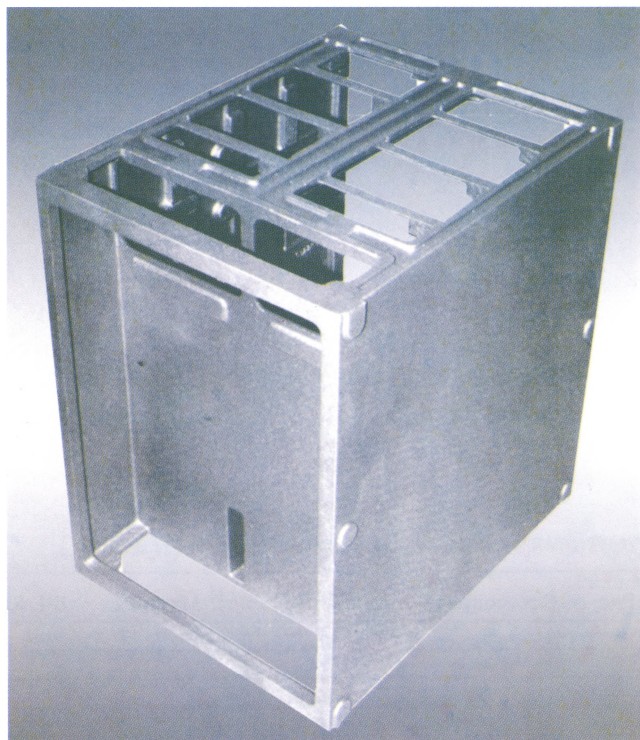


Рис. 6. Корпус. Материал — Al-Si 12, масса — 33 кг, габариты — 650x610x470 мм

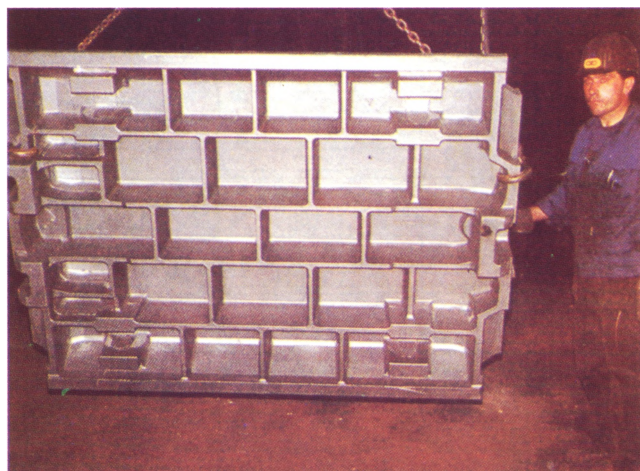


Рис. 7. Подмодельная плита для АФЛ. Материал — ВЧ 50, масса — 107 кг, габариты — 180x1200x160 мм

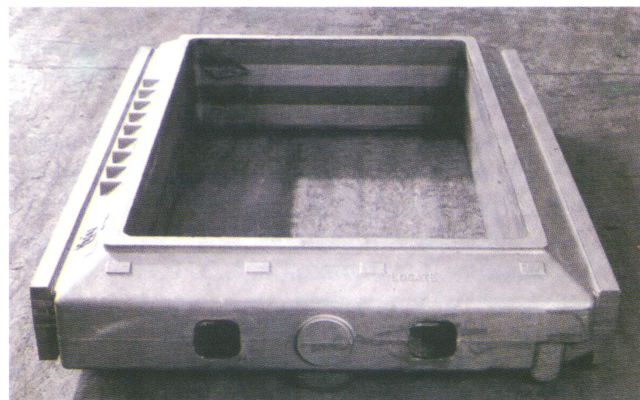


Рис. 8. Опoka АФЛ. Материал — ВЧ 50, масса — 800 кг, габариты — 1790x1400x350 мм

товлении песчаных форм вакуумно-пленочным способом гарантируют превосходное качество поверхности отливок. Можно выделить несколько причин данного явления.

Применение сухой формовочной смеси без связующего при уплотнении посредством вибрации и последующей подачи вакуума позволяет избежать так называемого «образования мостов» между отдельными зернами песка и, следовательно, предотвратить различную степень уплотнения смеси как по высоте, так и по площади опоки, что обеспечивает равномерность формирования качества поверхности отливки. Кроме того, использование вакуума позволяет получать настолько высокопрочную форму (рис. 10), что по ней после извлечения модели может легко «шагать» рабочий, а извлечение объемных частей модели вообще не вызывает никаких трудностей (рис. 11).

В отличие от традиционных технологий качество поверхности чугуновых и стальных отливок, полученных V-процессом, одинаково высоко, хотя температура заливки и агрессивность расплава различны.

Чистота поверхности вакуумных отливок настолько высока, что применяемая в обычных случаях для удаления формовочной смеси дробеструйная обработка может даже оказать негативное воздействие, так как после нее отливка приобретает повышенную шероховатость (табл. 4).

Высокие механические характеристики

В отличие от других способов производства отливок и песчаных форм при V-процессе зафиксировано особое поведение расплава при охлаждении в форме. Скорость охлаждения в течение короткого периода выше, так как отсутствует изолирующий газовый буфер: расплав находится в непосредственном контакте со стенкой формы. Затем скорость охлаждения существенно снижается, что объясняется отсутствием влажности формовочного материала, конвекции формовочной смеси, более низкой теплопроводностью песка. По мере увеличения степени насыщения различия становятся еще меньше. Снижение прочности положительно влияет на обрабатываемость. Низкая скорость охлаждения также положительно

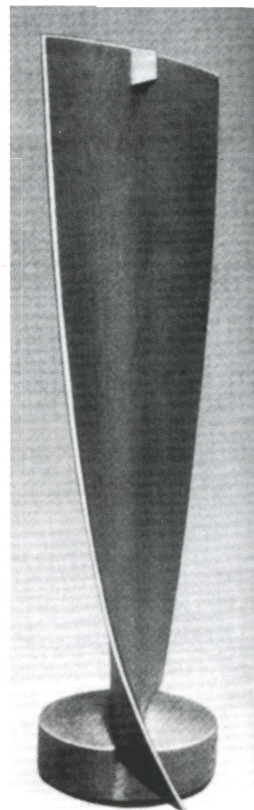


Рис. 9. Лопасть вентилятора

Таблица 4. Влияние дробеструйной очистки на качество поверхности чугунных отливок, изготавливаемых различными способами

Обработка	Формовочный процесс		
	V-процесс	литье в сухие формы (связующее--фуран)	литье в сырые формы (связующее--бентонит)
		наибольшая шероховатость отливок R_{max}	
Очистка вручную проволочной щеткой	0,08	0,33	0,27
Дробеструйная очистка	0,09-0,13	0,13-0,14	0,23-0,34

влияет на характеристики вязкости. Например, детали из GGG-40/3 (согласно DIN 1693, для данного сорта необходима работа разрушения надрезанного образца) изготавливаются посредством V-процесса без каких-либо проблем (минимальная толщина стенок около 12 мм). Дополнительная термообработка не нужна.

Постепенное и равномерное охлаждение отливки снижает вероятность возникновения внутренних напряжений литого металла, что для большинства отливок делает возможным их использование без дополнительной термообработки.

Экономичность

Снижение затрат при производстве вакуумных отливок начинается уже с модели, так как благодаря тому что пленка не допускает непосредственного контакта между формовочной смесью и моделью, и, следовательно, предотвращает износ модели, нет необходимости использования дорогостоящих металлических либо пластмассовых моделей. Для производства вакуумных отливок подходят «обычные» деревянные модели достаточной прочности. Что касается отверстий для подачи вакуума, их выполнение не связано с какими-либо трудностями.

Благодаря высокому качеству поверхности отливки, изготовленной вакуумно-пленочным способом, а также малому допуску, снижается объем механической обработки (в отдельных случаях возможен полный отказ от нее). Это имеет место прежде всего в тех случаях, когда возможен отказ от уклона формы.

V-Процесс предлагает целый ряд возможностей экономии материала и, таким образом, позволяет удовлетворить требования, предъявляемые к тонкостенной конструкции. Использование вакуума в процессе заливки позволяет удалить из полости формы воздух и выделяющиеся газы, что обеспечивает существенно лучшее заполнение формы расплавом и дает возможность изготавливать тонкостенные отливки практически без брака по «недоливам».

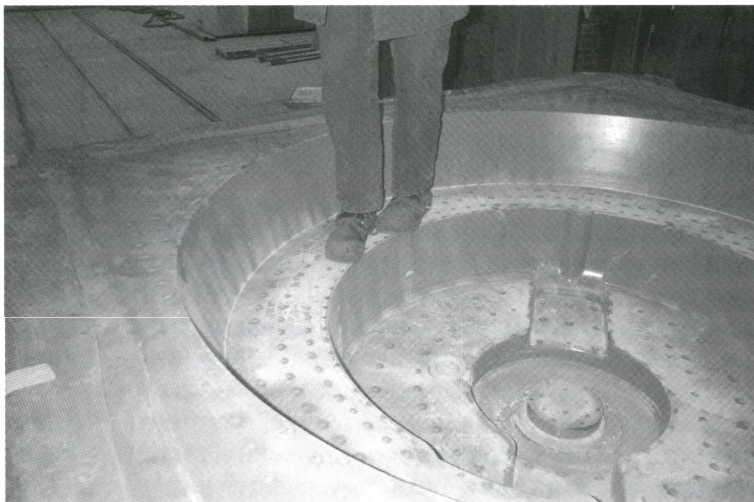


Рис. 10. Высокопрочная форма, получаемая вакуумно-пленочным способом



Рис. 11. Легкость при извлечении модели

Характерным примером высокой экономичности V-процесса является переход на эту технологию изготовления такой отливки, как «балка моста» (см. рис. 4), что позволило благодаря повышению размерной точности снизить массу отливки на 6–7%.

В настоящее время фирмой HWS по техническому заданию заказчика изготавливаются как индивидуальные формовочные машины для V-процесса, так и автоматические формовочные линии, позволяющие получать до 45 форм/ч (размеры опок 2000x1250) и до 20 форм/ч (размеры опок 3000x1800).