

УДК 669.716

Автоматизация процесса производства автомобильных литых дисков методом литья с кристаллизацией под давлением на гидропрессовом оборудовании

Денисов Максим Сергеевич

denisovmaxim90@mail.ru

SPIN-код: 1448-5817

ВлГУ, Владимир, Россия

Аннотация. Раскрыты причины недостаточно эффективного использования фактора внешнего воздействия на кристаллизующийся металл. Возможность повышения прочностных свойств сплава B95 показана на опытных образцах автомобильных дисков диаметром 13 дюймов. Опытные образцы изготовлены на оборудовании кафедры АМиР ВлГУ. Установлено, что эффект наложения давления на расплавленный металл в значительной мере зависит от технологических возможностей применяемого оборудования. Подробно рассмотрен вариант горизонтальной компоновки гидравлического пресса с двумя соосными гидроцилиндрами прессования и гидроцилиндром силового замыкания с мультипликатором давления рабочей жидкости до 100 МПа. Предложена схема процесса производства литых автомобильных дисков диаметром 13 дюймов. Спроектирована оснастка. С учетом развития АСУ технологическими процессами разработана компьютерная система информационного обеспечения и программного управления. Результаты исследований могут представлять интерес для предприятий, заинтересованных в производстве автомобильных литых дисков из деформируемых термически упрочняемых алюминиевых сплавов, в т. ч. для грузовых автомобилей.

Ключевые слова: высокопрочные алюминиевые сплавы, давление на жидкий металл, кристаллизация, структурные и механические свойства, автоматизированное управление, гидравлический пресс

Automation of the production process of automotive alloy wheels by injection molding on hydraulic pressure equipment

Denisov Maxim Sergeevich

denisovmaxim90@mail.ru

SPIN-code: 1448-5817

FSBEI of HE VLSU, Vladimir, Russia

Abstract. The paper reveals the reasons for the insufficiently effective use of the factor of external influence on the crystallizing metal. The possibility of increasing the strength properties of the B95 alloy is shown on test samples $\varnothing 150 \times 150$ mm. The prototypes were made on the equipment of the Department of AMR(VLSU). It has been established that the effect of applying pressure on molten metal largely depends on the technological capabilities of the used equipment. A variant of the horizontal layout of a hydraulic press with two coaxial hydraulic pressing cylinders and a power-locking hydraulic cylinder with a pressure multiplier of up to 100 MPa is considered in detail. The scheme of the production process of cast car

wheels with a diameter of 17 inches is proposed. The equipment is designed. Considering the development of automated control systems by technological processes, a computer information support and soft ware management system has been developed. The research results may be of interest to enterprises with production of automotive alloy wheels made of deformable thermally hardened aluminum alloys, including for trucks.

Keywords: high-strength aluminum alloys, pressure on liquid metal, crystallization, structural and mechanical properties, automated control, hydraulic press

Введение. Одной из стратегических целей повышения прочности сплавов на основе алюминия является замещение такого важного конструкционного материала, как сталь [1]. Характерным примером использования такого замещения является производство литых автомобильных дисков (АД) из алюминиевых сплавов. Мировой рынок АД из алюминиевых сплавов оценивается в 24,7 млрд долларов США в 2020 году и ожидается, что к концу 2026 года он достигнет 36,8 млрд долларов США, при этом среднегодовой рост рынка составит ориентировочно 5,8 % [2]. При этом диски из деформируемых термически упрочняемых сплавов предпочтительнее дисков из литейных сплавов [3]. Дальнейшее повышение прочности алюминиевых сплавов может обеспечить уменьшение их массы, а следовательно, снижение расхода топлива, улучшение ряда других характеристик.

Важно отметить, что широкое распространение литых АД произошло благодаря разработке эффективного процесса литья под низким давлением с противодавлением [4]. Но для изготовления литых АД не могут быть использованы высокопрочные деформируемые сплавы с низкой жидкотекучестью. Поэтому необходим поиск компромисса между КИМ и прочностью металла.

Материалы и методы. Осуществить жидкую штамповку деталей типа АД путем заливки жидкого металла в штамп и наложения давления на зеркало металла по классической схеме не представляется разрешимой задачей. Дело в том, что для опрессовки кристаллизующегося металла из алюминиевого сплава, например Д16 требуется давление более 300 МПа. При этом для наложения давления на автомобильный диск R17, который имеет площадь в плане 1450 см², требуется пресс с развиваемым усилием 435 МН (4 350 тонн).

В работе предлагается технология, обеспечивающая компенсацию усадки кристаллизующегося металла и повышение физико-механических свойств, которая реализована на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 30 МН (300 тс) [5], размеры которого не более 2200 (ширина)×1600 (высота)×6000 (длина) мм (рис. 1).

Пресс включает в себя литейную форму, состоящую из вкладышей, формирующих внутреннюю, наружную по ободу и лицевую поверхности диска и камеру прессования (рис. 2).

Камера прессования жидкого металла 6 ориентирована вдоль оси диска, прессующему плунжеру 4 противопоставлен контрплунжер 5 с возможностью смещения и остановки потока металла из камеры прессования в полость формы под давлением воздуха 0,5 МПа в камере 11, а в прессующем контр-

плунжере 10 предусмотрены полости конической формы, объем металла в которых составляет ~20 % от общего объема заливаемого металла, из которых 15 % предусмотрены на компенсацию объемной усадки и 5 % — на пресс-остаток.

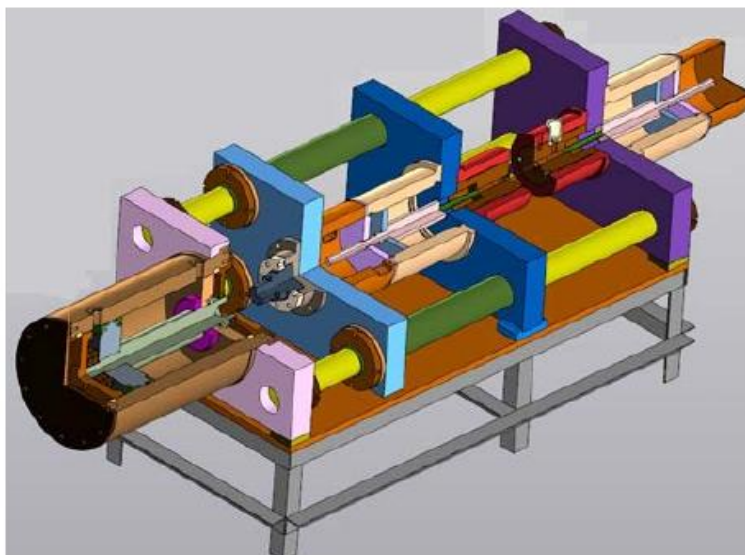


Рис. 1. Модель горизонтального гидравлического пресса усилием 30 МН

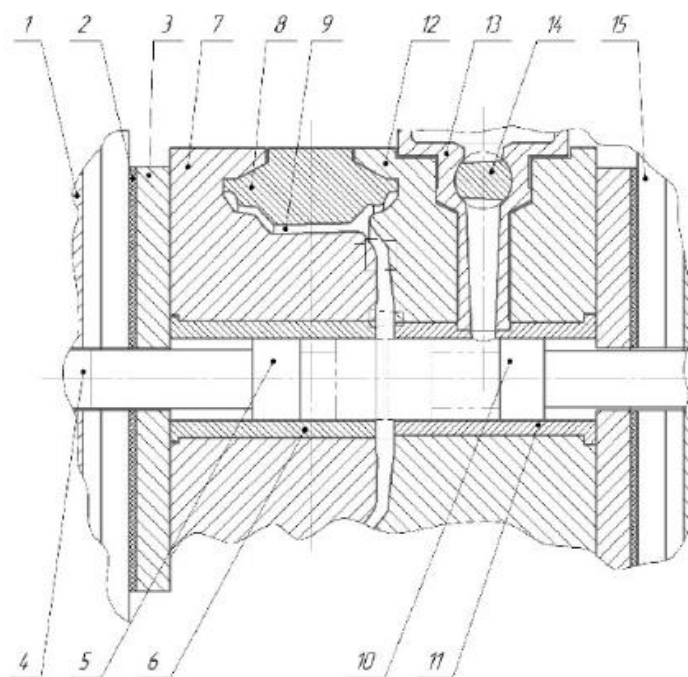


Рис. 2. Схема процесса изготовления автомобильных дисков:

1 — плита горизонтального пресса со встроенными гидроцилиндром прессования и гидроцилиндром локальной подпрессовки; 2 — теплоизоляционный слой; 3 — кольцо; 4 — левый прессующий плунжер; 5 — контрплунжер локальной подпрессовки слева; 6 — камера прессования левая; 7 — вкладыш, формирующий внутреннюю поверхность диска; 8 — вкладыш, формирующий обод диска сверху; 9 — вкладыш, формирующий обод диска снизу; 10 — контрплунжер локальной подпрессовки справа; 11 — камера прессования правая; 12 — вкладыш, формирующий лицевую поверхность диска; 13 — заливочная чаша; 14 — стопор; 15 — плита правая неподвижная

Предлагаемая схема опрессовки с компенсацией объемной усадки металла, включает свободную (без давления) заливку жидкого металла через чашу 13, наложение давления на жидкий и кристаллизующийся металл и выдержку до полного затвердевания. Принципиальное отличие предлагаемой схемы опрессовки от технологий, используемых в промышленности, заключается в том, что наложение давления осуществляют в две фазы. В первой фазе жидкий металл, перегретый выше температуры ликвидус на 150 К, заливают в резервную полость пресс-штампа, накладывают давление 50–100 МПа, после чего соединяя резервную полость с рабочей полостью пресс-штампа, жидкий металл в объеме 87–88 % от объема залитого металла продавливают из резервной полости в течение 2–3 с в рабочую полость пресс-штампа.

Во второй фазе оставшийся объем металла, составляющий 12–13 % от общего объема залитого металла, под постоянно нарастающим давлением до 400–500 МПа запрессовывают в кристаллизующийся металл на компенсацию объемной усадки. Кроме этого, давление на металл создается не с помощью пуансона, а через прессующий плунжер, который, преодолевая сопротивление закристаллизовавшейся корки, передает давление на жидкий металл изнутри до полного завершения кристаллизации.

Конструктивное исполнение опытной литой заготовки представлено на рис. 3.



Рис. 3. Модель литой заготовки автомобильного диска

Для контроля и управления параметрами процесса разработана АСУ прессом [6, 7]. После набора необходимой комбинации действий и задания продолжительности работы программы, происходит запуск процесса. Во время опрессовки, с помощью контрольно-измерительной системы, осуществляется запись основных параметров процесса (рис. 4).

Полученные данные о процессе сравниваются с фактическими значениями. В случае отклонения, получаемых параметров от заданных осуществляется корректировка параметров опрессовки в режиме реального времени.

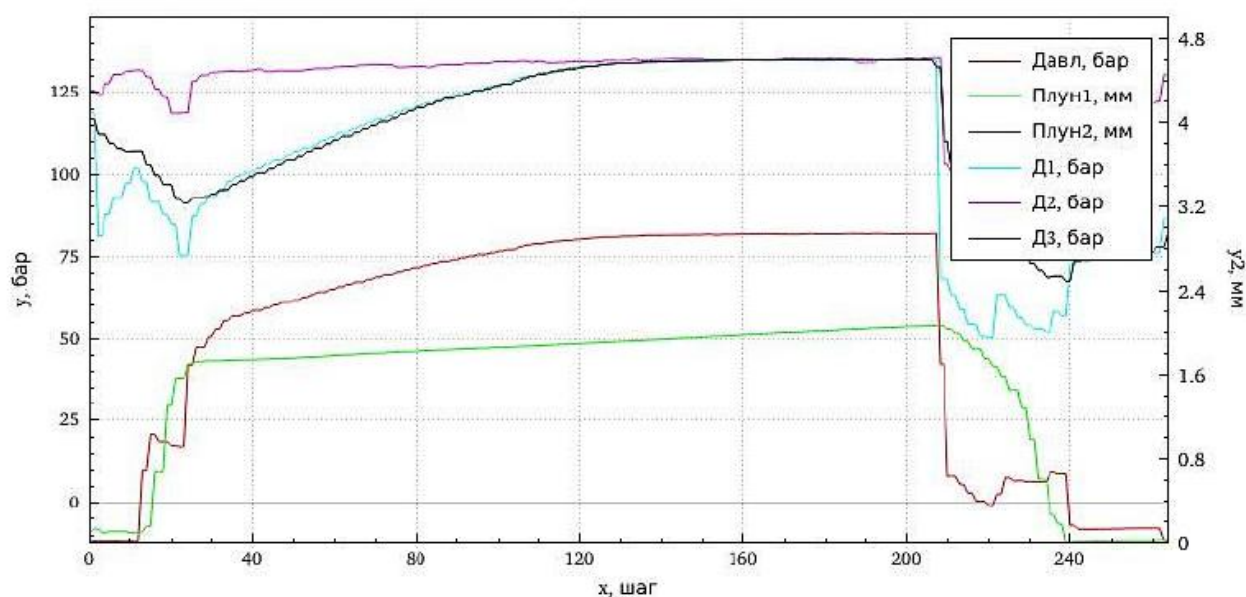


Рис. 4. Регистрация основных параметров процесса

Результаты. Наложение на расплав давления до 500 МПа приводит к образованию гладких зерен (рис. 5), их границы более совершенны, а структура более упорядоченная. Также уменьшается количество линейных и поверхностных дефектов на 3–4 порядка, создаются условия для конкурентного роста из большего числа центров. Обращает внимание отсутствие границ зерен. Дендритные ячейки плотно спрессованы по прямым линиям.

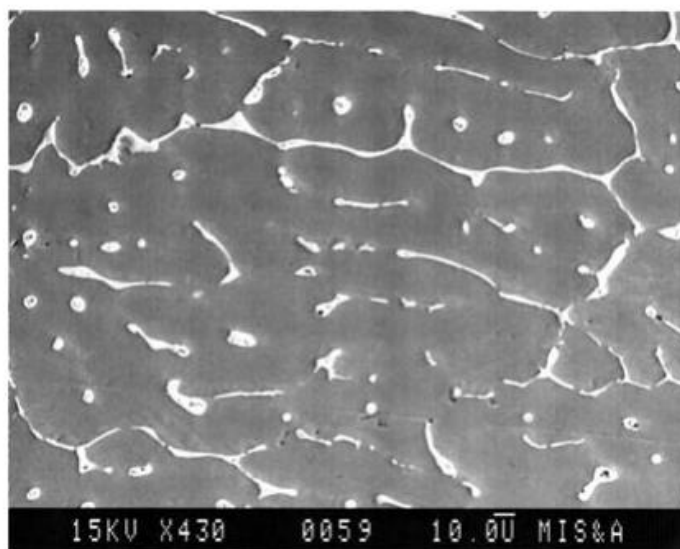


Рис. 5. Микроструктура сплава В95, полученного по технологии литья с компенсацией усадки кристаллизующегося металла (давление на металл 500 МПа)

В таблице приведены результаты механических испытаний образцов из сплава В95, полученных методом литья с компенсацией усадки кристаллизующегося металла под давлением 500 МПа.

**Механические свойства сплава В95, полученного по технологии литья
с компенсацией усадки кристаллизующегося металла
(давление на металл 500 МПа)**

Маркировка	Номер образца	Механические свойства		
		σ_B , МПа	δ , %	Твердость, НВ
В95	1 (долевое сечение)	537	5,3	125,2
	2 (долевое сечение)	540	7,5	
	3 (поперечное сечение)	494	3,6	

Обсуждение полученных результатов. Разработанный процесс опрессовки высокопрочных алюминиевых сплавов, основан на том, что переход металла из жидкого состояния в кристаллическое осуществляется в условиях управления сближением атомов на расстояния, близкие к тем, которые соответствуют твердому состоянию. Зафиксированные в местах хаотичного распределения в расплаве атомы постепенно, по мере движения прессующих плунжеров переводятся из жидкого в твердое состояние.

Проведенные ранее исследования [8, 9] и результаты, полученные в настоящей работе, показывают значительное отличие механических и структурных свойств в зависимости от уровня давления, накладываемого на металл. Отмечается, что повышение уровня давления приводит к образованию более плотной структуры, в которой влияние таких дефектов, как растворенные газы, вакансии, дислокации, границы зерен и др., сведено к минимуму.

Заключение. В представленной работе на основе теоретических разработок и технических решений реализован новый подход для решения проблем получения массивных отливок из высокопрочных алюминиевых сплавов методом литья с кристаллизацией под давлением, позволяющий выйти на промышленную технологию производства АД.

Разработанный подход, позволяет удерживать атомы металла на минимальном расстоянии друг от друга в течение отрезка времени, достаточного для полного охлаждения и формирования требуемых свойств, что позволяет уменьшить производственные затраты, автоматизировать процесс получения деталей из алюминиевых сплавов, прогнозировать качество, долговечность и износостойкость конечной продукции.

Список источников

- [1] *Металловедение и термическая обработка стали*. Москва, Металлургия, 1983, 368 с.
- [2] Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р., Баранов В.Н., Чеглаков А.В., Меркулова Г.А., Лыткина С.И., Худоногов С.А., Косович А.А., Партыко Е.Г. Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 5, с. 83–88.
- [3] Merlina M., Timelli G., Bonollob F., Luca G. Garagnania. Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels. *Journal of materials processing technology*, 2009, vol. 209, pp. 1060–1073.

- [4] Новиков И.И. *Теория термической обработки металлов*. Москва, Металлургия, 1978, 391 с.
- [5] Коростелев В.Ф. *Теория, технология и автоматизация литья с наложением давления*. Москва, Издательство «Новые технологии», 2004, 224 с.
- [6] Денисов М.С., Котов Г.А. Аппаратное, программное и алгоритмическое обеспечение системы управления гидропрессовым оборудованием. *Автоматизация. Современные технологии*, 2022, т. 76, № 5, с. 236–240.
- [7] Денисов М.С., Петрешин Д.И., Давыдов К.С. Согласование режимов наложения давления со скоростью охлаждения металла в форме как способ управления процессом литья с кристаллизацией под давлением. *Вестник МГТУ «Станкин»*, 2022, № 4 (63), с. 42–49.
- [8] Богданова Т.А., Рябов Д.К., Моисеев Д.О., Королев А.В., Фадеев В.Н., Коростелев В.Ф., Денисов М.С. Исследование влияния давления на формирование структуры и свойств сплавов на основе алюминия. *Прогрессивные литейные технологии. XII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тр.* Москва, МИСиС, 2024, с. 157–160.
- [9] Денисов М.С., Котов Г.А. Влияние давления на сжимаемость алюминиевых сплавов. *Автоматизация. Современные технологии*, 2020, т. 74, № 3, с. 102–107.