

УДК 621.74

Моделирование процессов изготовления фасонных отливок из низколегированных сплавов меди с железом

Семенов Константин Геннадьевич ^{1(*)}	semenovkg@bmstu.ru
Чернов Владимир Викторович ¹	vvchernov@mail.ru
Батышев Константин Александрович ¹	konstbat63@mail
Панкратов Сергей Николаевич ²	pankratov-@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование процессов изготовления фасонных отливок на основе низколегированных сплавов меди с железом способами литья по выплавляемым моделям ЛВМ на основе применения инструментария СКМ ProCAST. Оценка адекватности разработанных цифровых прототипов проводилась путем физического моделирования технологии литья отливок из технически чистой меди.

Ключевые слова: низколегированный сплав, медь, железо, компьютерное моделирование, технология, исходные параметры, результаты

Simulation of manufacturing processes for shaped castings from low - alloy copper - iron alloys

Semenov Konstantin Gennadievich ¹	semenovkg@bmstu.ru
Chernov Vladimir Viktorovich ¹	vvchernov@mail.ru
Batyshev Konstantin Aleksandrovich ¹	konstbat63@mailru
Pankratov Sergey Nikolaevich ²	pankratov-@mail.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russia² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract. In the work, computer simulation of the manufacturing processes of shaped castings based on low-alloyed copper-iron alloys was carried out by investment casting methods of LCM based on the use of ProCAST SKM tools. The assessment of the adequacy of the developed digital prototypes was carried out by physical modeling of the casting technology of commercially pure copper castings.

Keywords: low-alloy alloy, copper, iron, computer simulation, technology, initial parameters, results

Развитие новых технологий требует создания и оптимизацию известных сплавов на основе меди, от которых требуются повышенные электро- и теплопроводность в сочетании с более высокими механическими и литейными свойствами. За последние годы основными объектами синтеза новых сплавов

на основе меди являются низколегированные сплавы [1]. Низколегированные сплавы на основе системы меди с железом, обладают высокими литейно-технологическими свойствами, позволяющими получать фасонные отливки способами литейных технологий: кокильного литья, литья по выплавляемым моделям, технологией литья с кристаллизацией под давлением [2].

Моделирование технологии изготовления отливок из низколегированных медных сплавов проводилось с помощью программного комплекса ProCAST. ProCAST — профессиональная система компьютерного 3D-моделирования литейных процессов методом конечных элементов.

Основа ProCAST — три решателя (solvers): гидродинамический (Flow solver), тепловой (Thermal solver) и решатель напряжений (Stress solver). В качестве дополнительных опций предлагается внушительный список модулей, расширяющих базовые возможности программы [3].

Моделирование процесса изготовления отливки способом литья по выплавляемым моделям проводили на примере отливки из сплава медь–железо (токосъемные элементы) [4, 5], представленной на рис. 1.

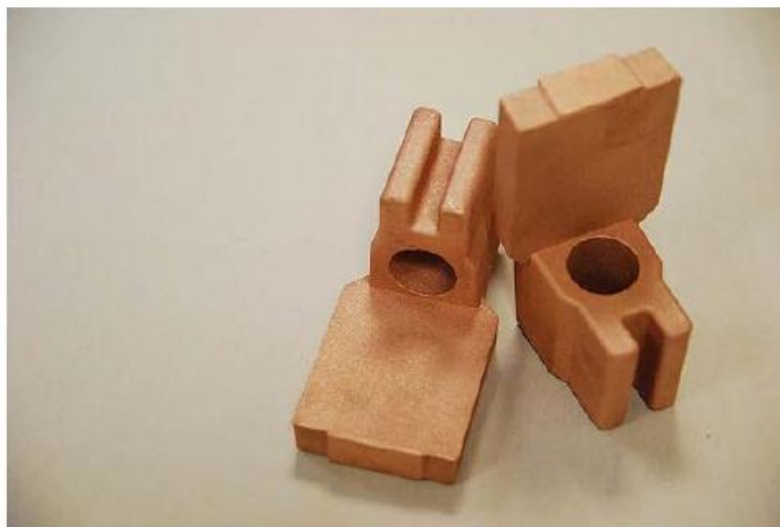


Рис. 1. Отливка, полученная ЛВМ из низколегированного сплава медь–железо

Габаритные размеры отливки: высота 60 мм, ширина 40 мм, толщина стенки отливки 5–10 мм. Габаритные размеры форм: высота 200 мм, диаметр 150 мм. Температура заливки $T_z = 1260$ °С, температура формы $T_{\phi} = 500$ °С, скорость заливки 0–1 м/с. Оболочковая форма состоит из шести слоев, в качестве связующего используется гидролизированный раствор этилсиликата, огнеупорный наполнитель в суспензии — электрокорунд, обсыпка — электрокорунд крупностью от 0,16 до 0,32 мм. Наполнитель в опоке — плавленный кварц. Коэффициент теплоотдачи оболочковой формы $1000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, наружной поверхности наполнителя — $300 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, Коэффициент теплоотдачи открытой поверхности (верх) $200 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, боковой стенки и основания $50 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, температура воздуха 20 °С.

На рис. 2 представлено поле распределения температур по объему при заливке сплава медь – железо. Можно отметить, что при заполнении формы на 73 %, количество твердой фракции отсутствует, литниковая система и литниковая воронка полностью не заполнена, что позволяет при дальнейшем заполнении обеспечить направленность затвердевания отливок.

При заполнении формы на 98 % (рис. 2) время заполнения составляет 0,52 с, твердая фракция отсутствует. Отливки полностью заполнены, а литниковая система обеспечивает подпитку отливок жидким расплавом.

На рис. 3 объемное распределение температур после полного затвердевания формы. Время затвердевание составило 131,39 с.

Визуальный осмотр отливок показал полное отсутствие дефектов. При компьютерном моделировании литья по выплавляемым моделям токосъемных элементов при помощи программного обеспечения ProCAST дефектов в цифровых прототипах отливок не обнаружено.

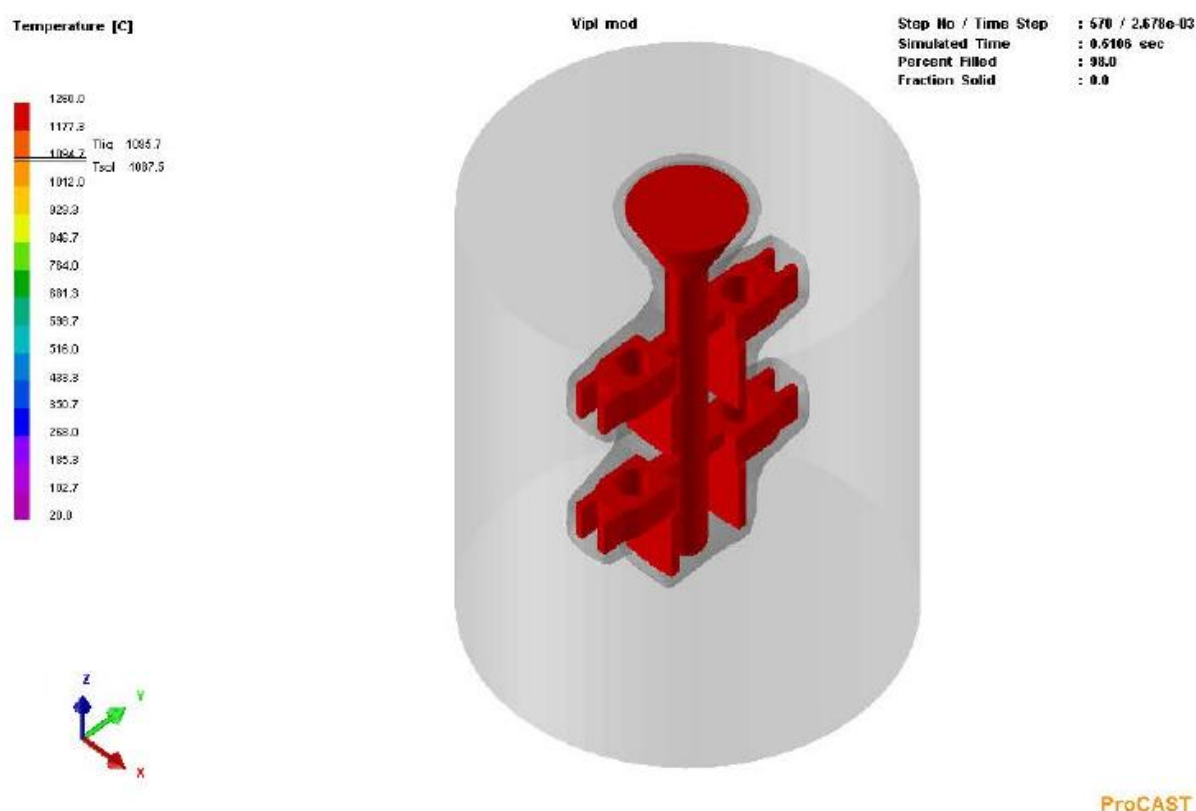


Рис. 2. Объемное распределение температур (°C) при заполнении формы на 98 %

Результаты расчета стадии заполнения: объемное распределение температур и скорости потока жидкого металла представлено на рис. 4. При заполнении формы на 98 % твердая фракция отсутствует. Скорость заполнения формы составляет от 0,2 до 2,0 м/с, что обеспечивает ламинарный характер течения расплава.

На рис. 5 представлены результаты расчета кристаллизации (распределение твердой фазы, усадочная пористость). После полного затвердевания за 129 с усадочная пористость не превышает 2 %, и в основном, сосредоточена

на в местах утолщения отливки в отдельных частях формы. Появление пористости связано с незначительным интервалом кристаллизации сплава, составляющим около 9 °С.

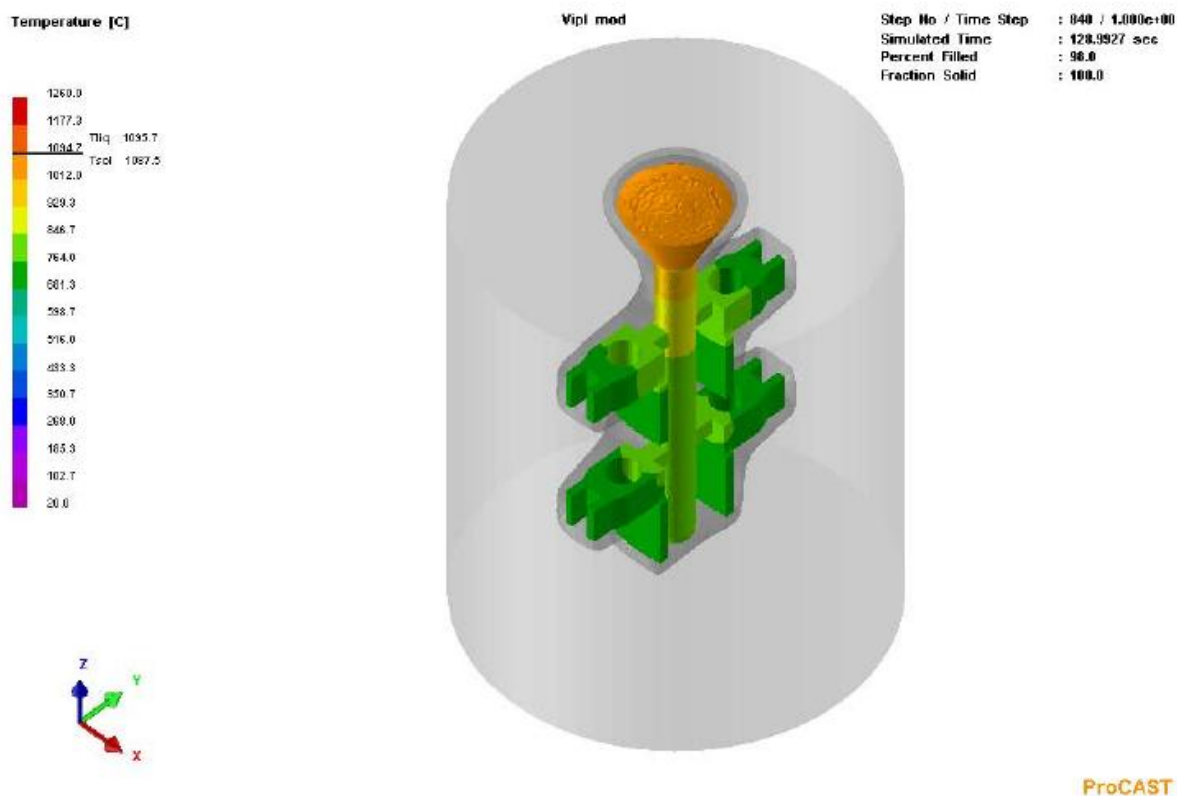


Рис. 3. Объемное распределение температур (°C) после полного затвердевания

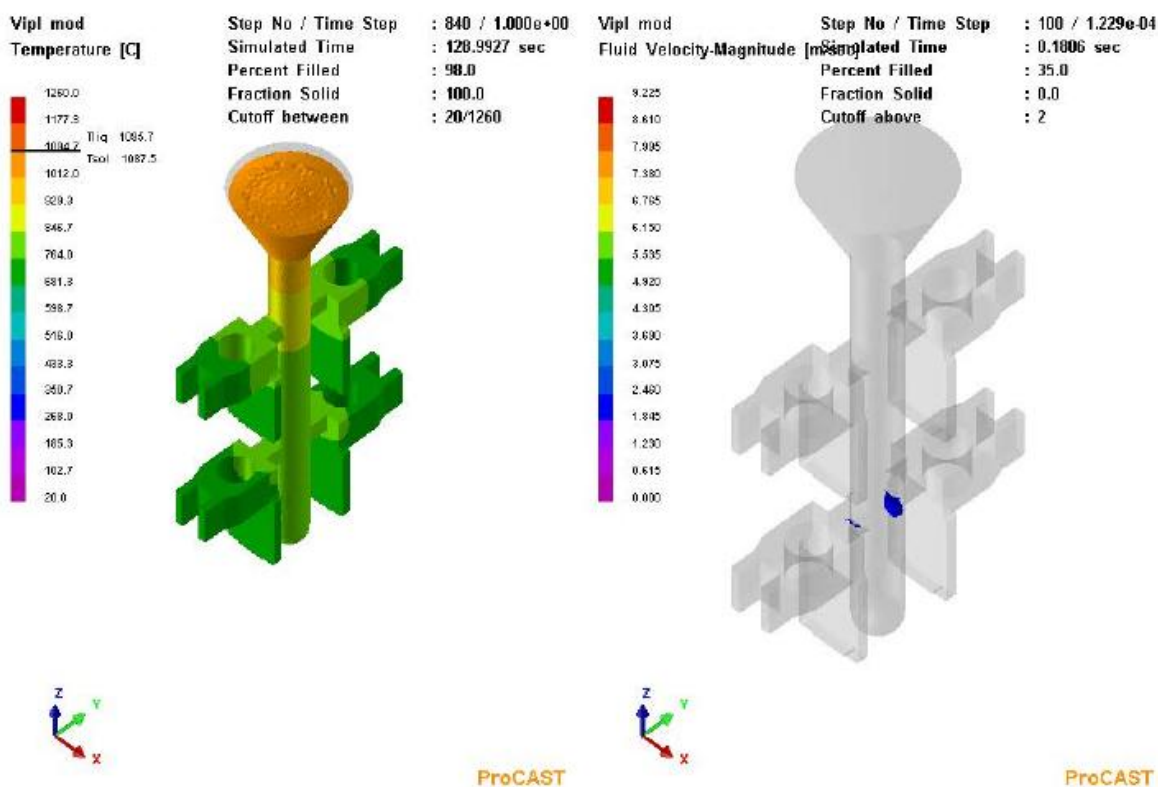


Рис. 4. Результаты расчета стадии заполнения: объемное распределение температуры и скорости потока жидкого сплава медь–железо

Таким образом, при проведении компьютерного моделирования технологического процесса литья по выплавляемым моделям в ПО ProCAST, получены результаты, которые позволяют обеспечить изготовление отливок сложной конфигурации из сплава медь–железо.

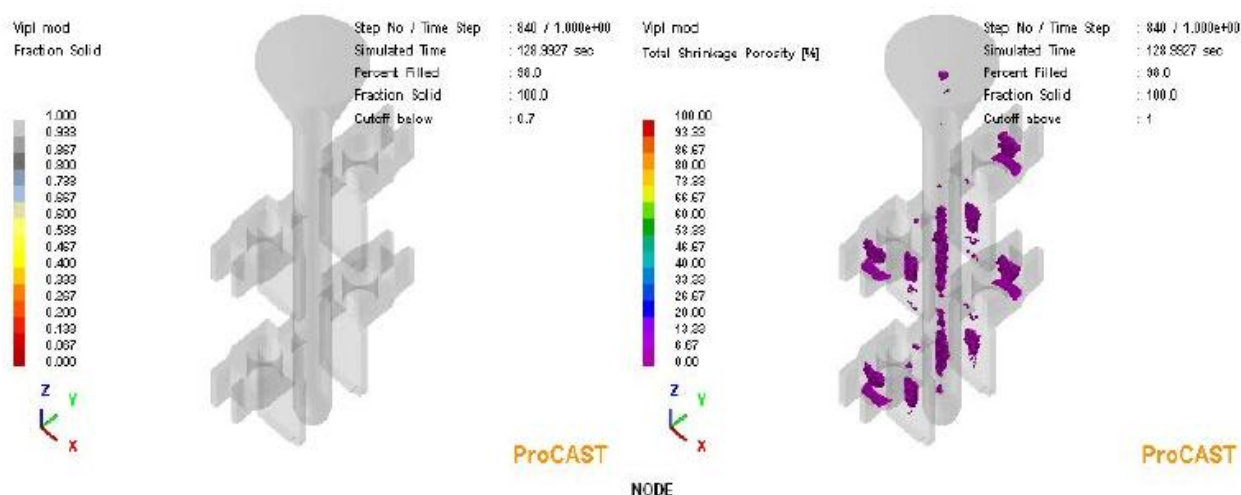


Рис. 5. Результаты расчета кристаллизации (распределение твердой фазы, усадочная пористость) сплава медь–железо способом ЛВМ

На рис. 6 представлены реперные точки на верхней отливке формы ЛВМ, а на рис. 7 кривые охлаждения в этих узловых точках сетки модели, которые указывают на более высокие скорости охлаждения в тонких сечениях отливки и образования площадки на кривых охлаждения, характерной для перитектического превращения $1087,5^{\circ}\text{C}$ сплава медь–железо.

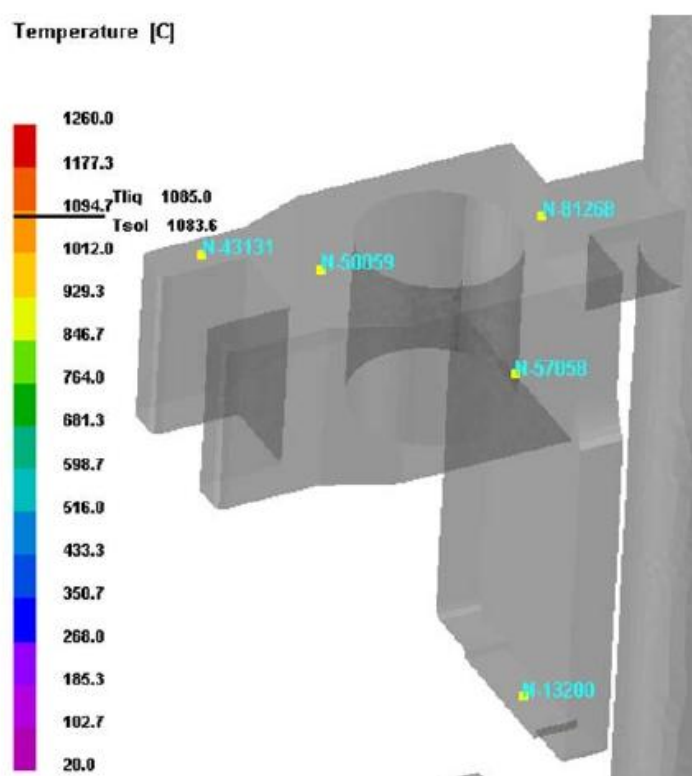


Рис. 6. Реперные узловые точки сетки МКЭ на отливке ЛВМ

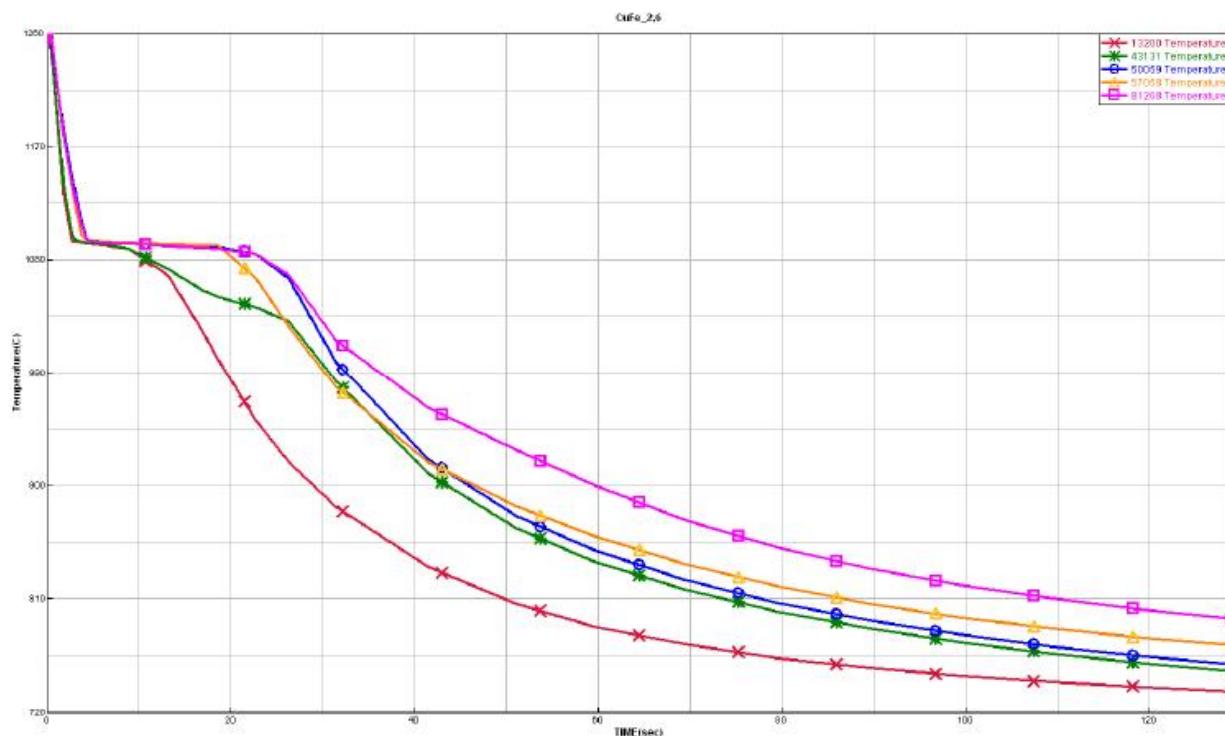


Рис. 7. Кривые охлаждения в узловых точках сетки модели при охлаждении отливки ЛВМ из сплава медь–железо

На основании полученных результатов разработана технология изготовления партии отливок способом ЛВМ из низколегированного сплава медь–железо 2,65 %. Внешний вид отливок при визуальной оценке не имел видимых дефектов и соответствовал требованиям, предъявляемым к отливкам, изготовленным методом ЛВМ из медных сплавов.

Список источников

- [1] *Международный транслятор современных сталей и сплавов*. Москва, Изд. Международной инженерной академии ИНТК, 1993, 800 с.
- [2] Семенов К.Г. Низколегированные сплавы на основе меди. *Литейщик России*, 2020, № 3, с. 40–44.
- [3] *Базовый учебный курс по работе в программных продуктах ProCAST*. Группа компаний «PLM Урал» — «Делкам Урал», 2011, 174 с.
- [4] Семенов К.Г., Батышев К.А., Панкратов С.Н. *Низколегированные сплавы на основе меди для инновационных технологий машиностроения*. Курск, Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2018, 153 с.
- [5] Батышев К.А., Семенов К.Г., Свиногоев Ю.А. *Современные технологии производства отливок из сплавов цветных металлов*. Москва, Изд-во «Первый том», 2020, 150 с.