



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-68-74>
УДК 669.14.018.252

Поступила 10.11.2020
Received 10.11.2020

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Л. П. ДОЛГИЙ, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: stl_minsk@tut.by

В статье приведены результаты компьютерного моделирования условий кристаллизации отливок из быстрорежущей стали Р6М5, предназначенных для изготовления фрез и зубодолбежного инструмента, используемых в условиях ОАО «Минский завод шестерен». Применение моделирования позволило оптимизировать литниковую систему, уменьшить объем прибыльной части на 30–35% и повысить выход годного литья, что дало возможность снизить расход дорогостоящих легирующих элементов, вводимых в расплав для их компенсации при угаре во время плавки и разливки.

Ключевые слова. Быстрорежущая сталь, отливки, условия кристаллизации, компьютерное моделирование, литейная оснастка.

Для цитирования. Рудницкий, Ф. И. Особенности технологии изготовления литых инструментальных заготовок из быстрорежущей стали Р6М5 / Ф. И. Рудницкий, Л. П. Долгий // Литье и металлургия. 2020. № 4. С. 68–74. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-68-74>.

FEATURES OF TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING CAST TOOLBILLS FROM RAPID-CUTTING STEEL R6M5

F. I. RUDNITSKY, L. P. DOLGIY, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: stl_minsk@tut.by

The article presents the results of computer simulation of the crystallization of castings from high-speed steel R6M5, intended for the manufacture of cutters and gear shaping tools in the conditions of OJSC “Minsk Gear Plant”. The use of modeling made it possible to optimize the gating system, reduce this volume of the profitable part by 30–35% and increase the yield of suitable casting, which made it possible to reduce the consumption of expensive alloying elements introduced into the melt to compensate for burnout during melting and casting.

Keywords. High speed steel, castings, crystallization conditions, computer modeling, foundry equipment.

For citation. Rudnitsky F. I., Dolgy L. P. Features of technology for manufacturing cast toolbills from rapid-cutting steel R6M5. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 4, pp. 68–74. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-68-74>.

Опыт применения литейных технологий при изготовлении литых заготовок из быстрорежущих сталей позволяет с уверенностью выделить ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами использования проката и поковок:

- возможность использования собственных отходов инструментального производства (стружка, вышедший из строя инструмент, немерные заготовки проката, металлоабразивный шлам);
- экономия металла за счет максимального уменьшения припусков под механическую обработку при использовании точных методов литья (до 90%);
- повышение стойкости инструмента путем оптимизации химического состава, технологических факторов изготовления на всех этапах от плавки металла до заливки и термической обработки заготовок с максимальным учетом конкретных условий эксплуатации [1–3].

Для промышленного использования необходимы заготовки круглого и квадратного сечения различной длины, а также фасонные заготовки по размерам, максимально приближающимся к размерам готового инструмента. Для обеспечения качественного заполнения формы металлом, предотвращения литейных дефектов (усадочных раковин, пористости и др.), которые особенно недопустимы в инструментальных заготовках, учитывая особенности стали Р6М5 (сложнолегированный широкоинтервальный сплав с невысокими технологическими свойствами, такими, как усадка (2–2,2%),

склонность к образованию горячих и холодных трещин), использовали методы компьютерного моделирования при проектировании оснастки.

В ходе работы для выполнения моделирования литейной технологии получения цилиндрических заготовок из стали Р6М5 (для изготовления фрез) в программном пакете «SolidWorks» была построена 3D-модель кокиля с традиционной прибыльной частью, выполненной в теле металлической формы и кокиля с прибыльной надставкой из химически твердеющей смеси (рис. 1).

Для расчетов литейной технологии в пакете «Полигон» построена конечно-элементная модель кокиля с использованием пакета «CosmosDesignStar» (рис. 2).

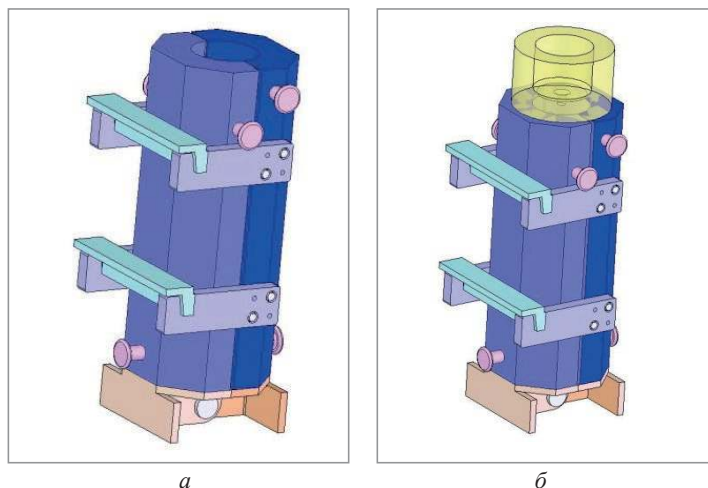


Рис. 1. Виртуальная 3D-модель кокиля:
а – модель кокиля; б – модель кокиля с прибыльной надставкой

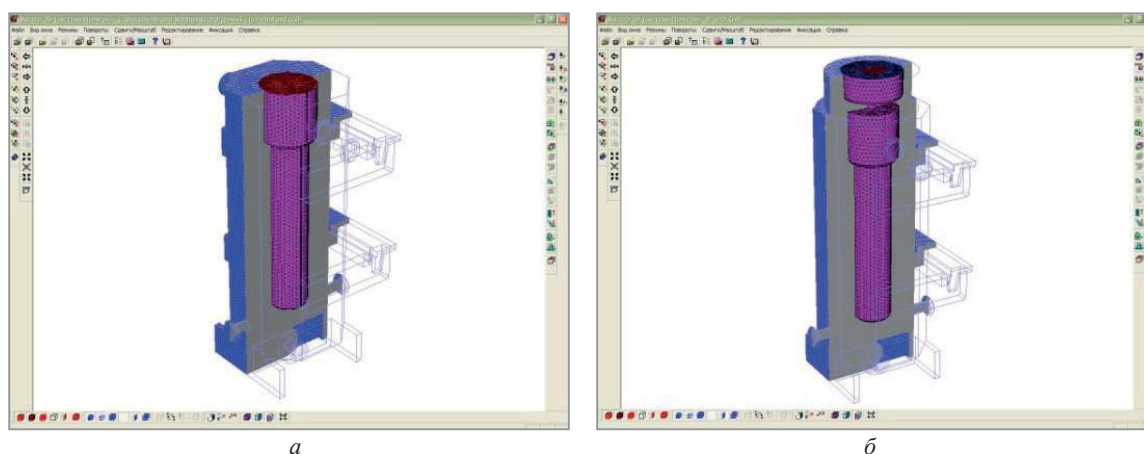


Рис. 2. Конечно-элементная модель кокиля: а – модель кокиля; б – модель кокиля с прибыльной надставкой

Проведен расчет гидродинамических процессов заполнения кокиля расплавом в модуле «Flow Vision» пакета «Полигон» (рис. 3). Выполнено моделирование процесса кристаллизации расплава в кокиле в модуле «Фурье3D» пакета «Полигон» (рис. 4). Получена картина усадочных дефектов в объеме отливки, образовавшихся в процессе кристаллизации расплава в кокиле (рис. 5).

Из результатов моделирования следует, что при выбранной литниковой системе после заполнения формы расплавом и его кристаллизации в теле отливки возможно образование дефектов, что является недопустимым. Для исправления ситуации с возможным появлением дефектов предложен вариант с использованием прибыльной надставки из стержневой химически твердеющей смеси. Такая надставка вследствие меньшей теплоаккумулирующей способности ее материала может существенно изменить условия затвердевания отливки. Поэтому на втором этапе работы проведен расчет гидродинамических процессов заполнения кокиля с прибыльной надставкой расплавом в модуле «FlowVision» пакета «Полигон» (рис. 6). Выполнено моделирование процесса кристаллизации расплава в кокиле с прибыльной надставкой в модуле «Фурье3D» пакета «Полигон» (рис. 7). Получена картина усадочных дефектов в объеме отливки, образовавшихся в процессе кристаллизации расплава в кокиле с прибыльной надставкой (рис. 8).

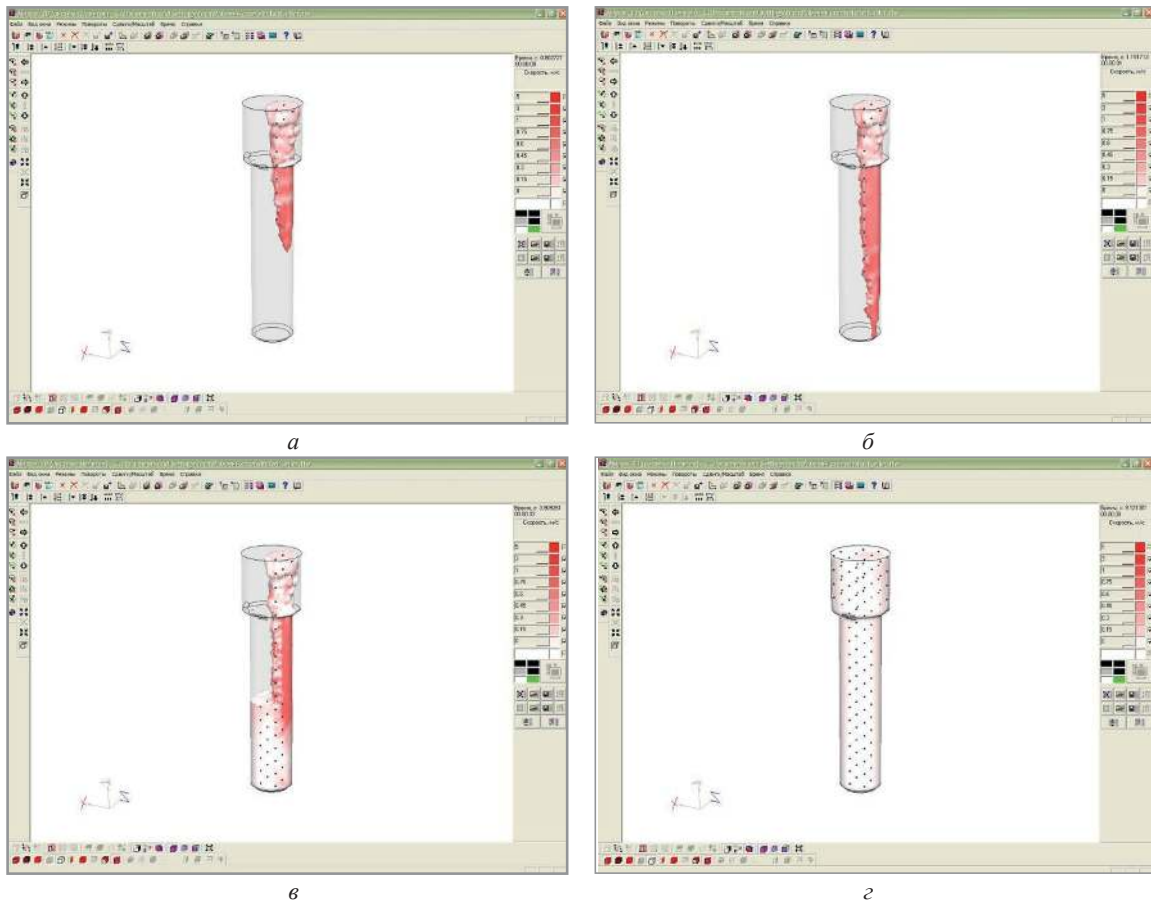


Рис. 3. Моделирование процесса заполнения кокиля расплавом: *a* – 1 с; *б* – 2; *в* – 4; *з* – 11 с

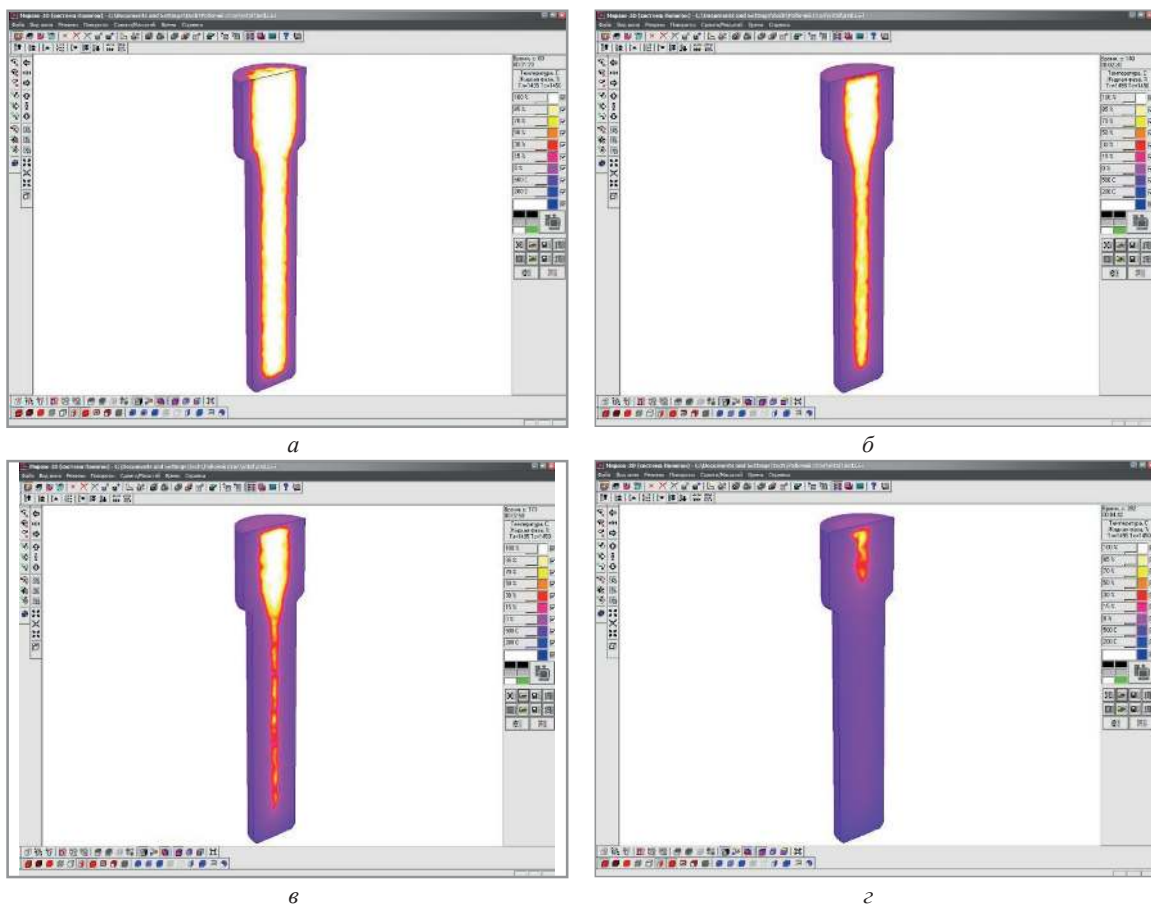


Рис. 4. Моделирование процесса кристаллизации расплава в кокиле: *a* – 1,5 мин; *б* – 3; *в* – 4; *з* – 6 мин

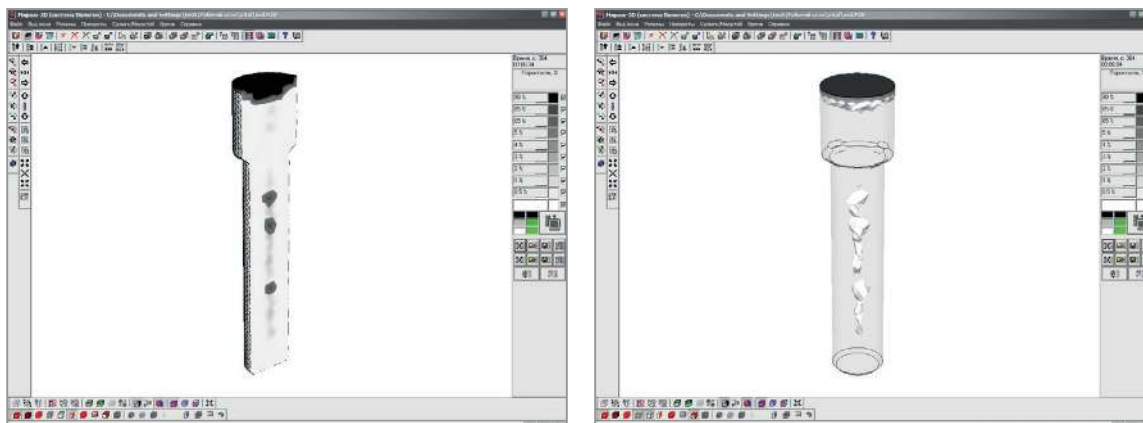


Рис. 5. Картина усадочных дефектов в отливке: *а* – в сечении отливки; *б* – в объеме отливки

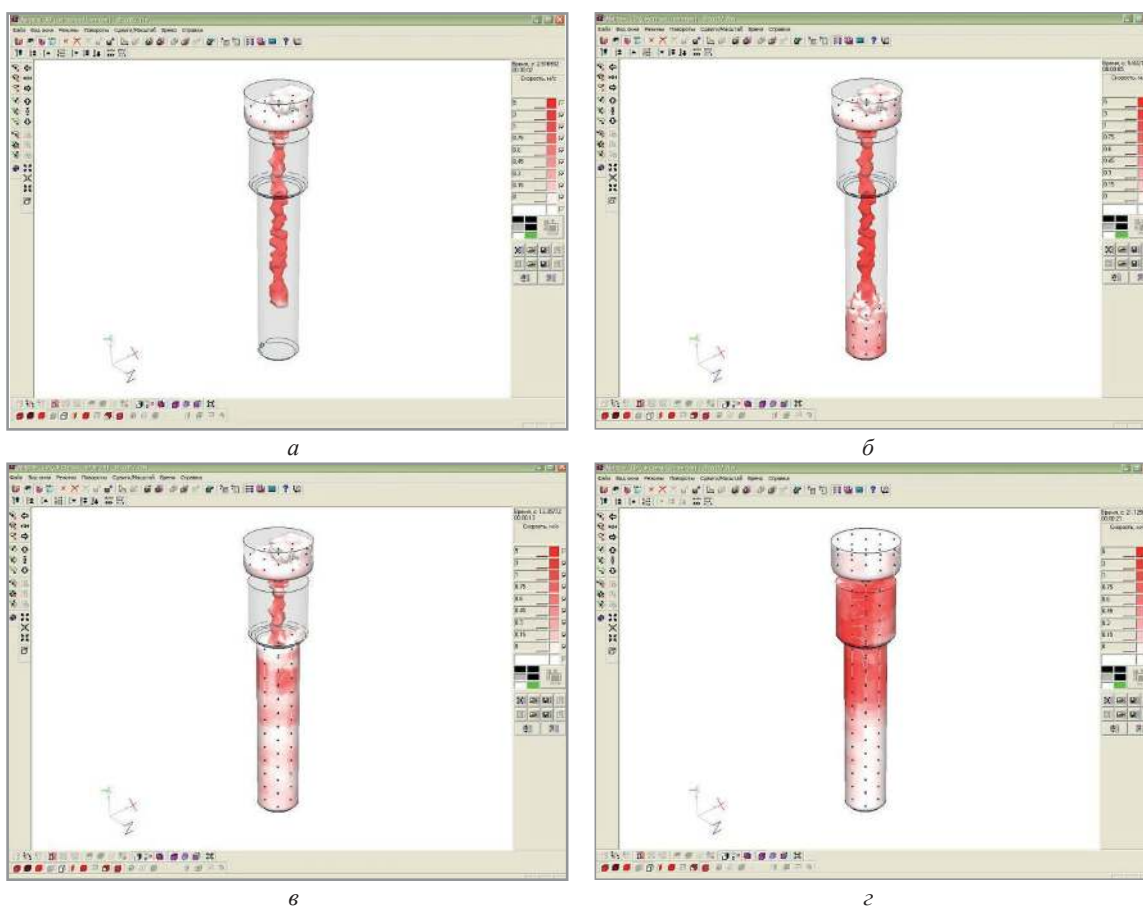


Рис. 6. Моделирование процесса заполнения кокиля с прибыльной надставкой расплавом: *а* – 2,5 с; *б* – 6; *в* – 13; *г* – 21 с

Результаты моделирования подтвердили эффективность применения прибыльной надставки для устранения усадочных дефектов в теле отливки.

В рамках выполнения научно-производственного договора с ОАО «Минский завод шестерен» по разработке технологии переплава лома и отходов стали Р6М5 с целью повышения выхода годного литья была разработана с использованием результатов моделирования и изготовлена специальная литейная оснастка. Комплект включает металлическую литейную форму (кокиль) с емкостью для установки прибыльных надставок и унифицированный пластиковый стержневой ящик для получения надставок из материалов (и их комбинаций) с различной степенью теплоизоляции (рис 9).

Опробованы несколько вариантов теплоизолирующих композиций, основные из них:

- 1) кварцевый песок (жидкостекольная смесь с продувкой CO₂);
- 2) разработанный композиционный состав № 3 [1];
- 3) вставки из мулито-кремнеземного волокна ММРР-130;

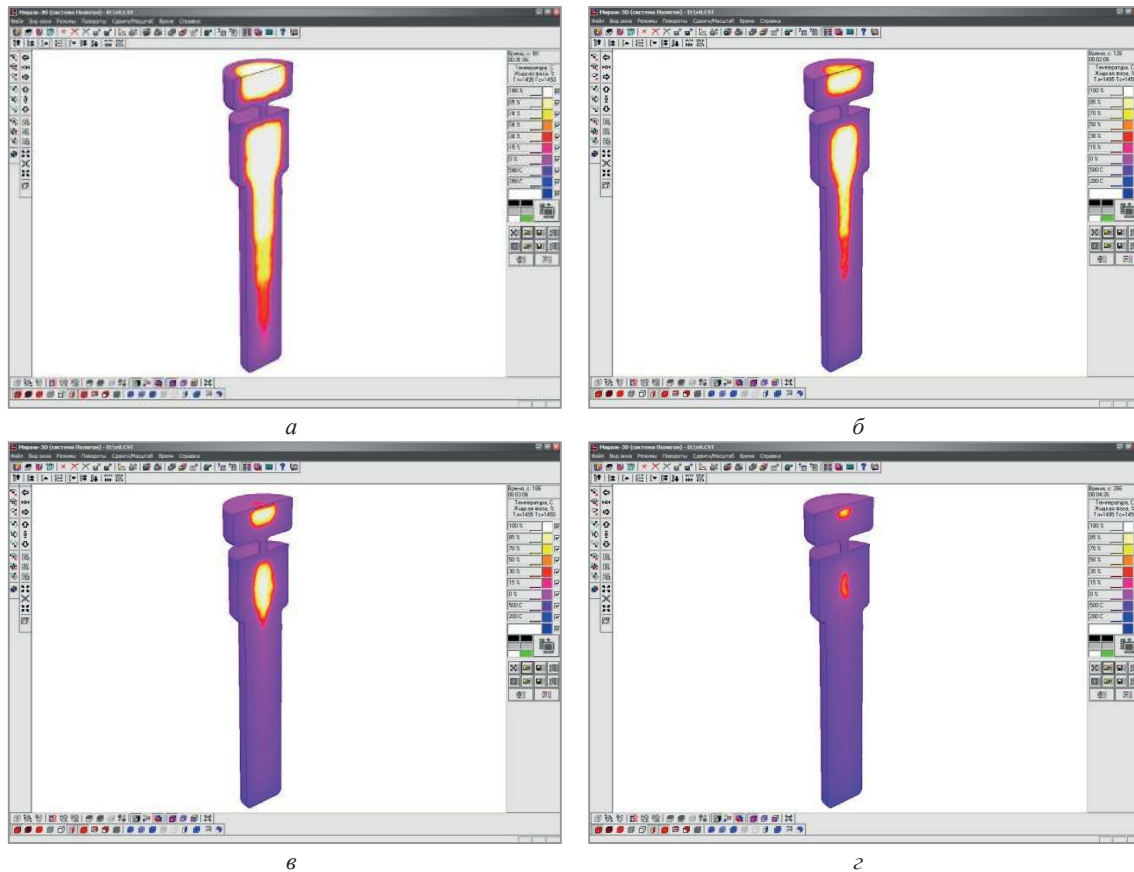


Рис. 7. Моделирование процесса кристаллизации расплава в кокиле с прибыльной надставкой: а – 1,5 мин; б – 3; в – 4; з – 5 мин

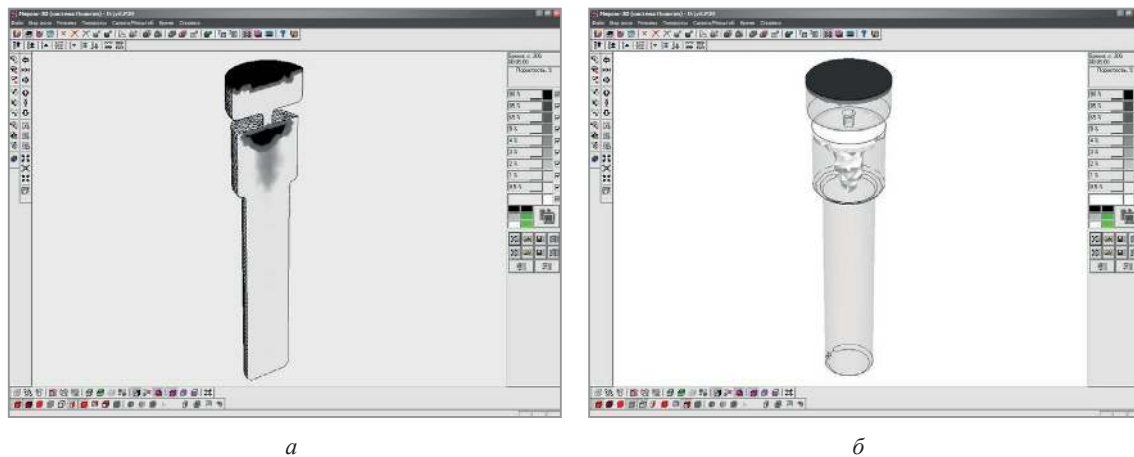


Рис. 8. Картина усадочных дефектов в отливке, полученной в кокиле с прибыльной надставкой:
а – в сечении отливки; б – в объеме отливки

- 4) обмазка песчаной надставки экзотермической смесью со связующим;
- 5) дополнительный подогрев прибыльной части отливки, прессованной экзотермической вставкой (рис. 10).

Из приведенных наилучшие результаты показали варианты 2, 3 и 5. Недостатки использования мулито-кремнеземного волокна – его высокая стоимость и неудовлетворительные экологические условия при производстве вставок. При дополнительном подогреве прессованными экзотермическими вставками наблюдается значительное дымовыделение и пироэффект, что также ухудшает экологическую обстановку в замкнутом пространстве литейного участка. Кроме того, сложно достичь стабильного эффекта при данной технологии. Поэтому при относительно равных прочих условиях предпочтение отдано композиционному составу № 3 на основе недорогих и доступных материалов (в основном отходы производства) – глина (15%), древесные опилки (40%), отходы производства стекловолокна (20%) и маршаллит или кварцевый песок (25%) (рис. 11).

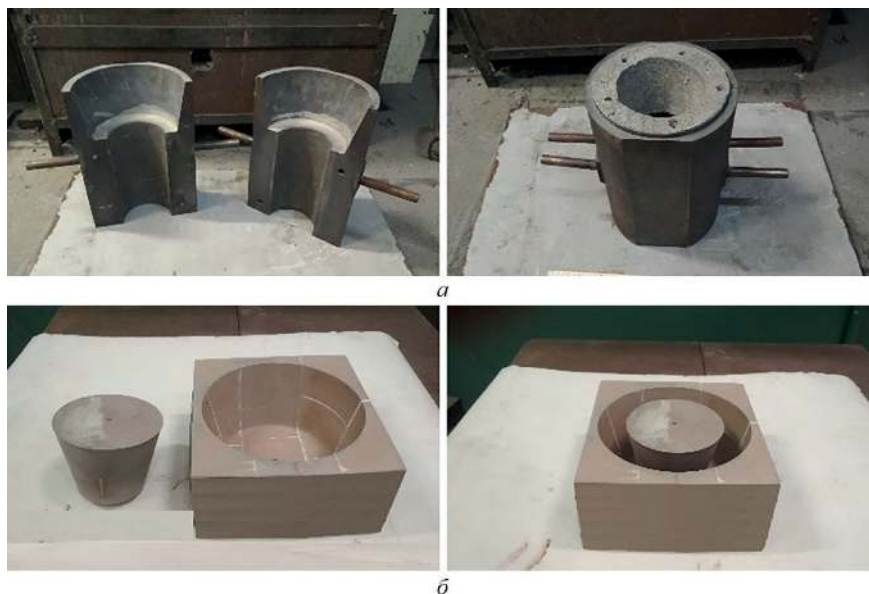


Рис. 9. Технологическая оснастка для разливки металла: *а* – кокиль; *б* – форма для получения прибыльной надставки



Рис. 10. Внешний вид теплоизолирующих вставок: *а* – кварцевый песок; *б* – состав № 3; *в* – вставка из ММРР-130; *г* – обмазка экзосмесью



Рис. 11. Отливки с прибыльной частью, полученные с применением вставок различного состава: *а* – без утепления; *б* – со вставкой из композита № 3; *в* – с обмазкой песчаной надставки экзотермической смесью

Применение указанных мероприятий позволило уменьшить объем прибыли на 30–35 %, что повысило выход годного литья и дало возможность снизить расход дорогостоящих легирующих материалов для их компенсации при угаре во время плавки и разливки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И. Влияние условий эксплуатации литого металлорежущего инструмента на особенности его изнашивания и стойкость. Часть 1. Анализ условий работы инструментов // Трение и износ. 2007. Т. 28. № 5. С. 449–456.
2. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И. Влияние условий эксплуатации литого металлорежущего инструмента на особенности его изнашивания и стойкость. Часть 2. Результаты стойкостных испытаний // Трение и износ. 2008. Т. 29. № 2. С. 198–203.
3. Рудницкий Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литье и металлургия. 2006. № 2. Ч. 2. С. 173–177.
4. Долгий Л. П., Калининченко М. Л., Калининченко В. А., Лушчик П. Е. Получение изделий ответственного назначения из износостойкого чугуна ЧХ16М2 // Литейное производство. 2002. № 1. С. 8–11.

REFERENCES

1. **Chaus A.S., Rudnickij F.I.** Vlijanie uslovij jekspluatacii litogo metallorezhushhego instrumenta na osobennosti ego iznashivaniya i stojkost'. Chast' 1. Analiz uslovij raboty instrumentov [Influence of the operating conditions of a cast metal-cutting tool on the characteristics of its wear and durability. Part 1. Analysis of working conditions of instruments]. *Trenie i iznos = Friction and wear*, 2007, vol. 28, no. 5, pp. 449–456.
2. **Chaus A.S., Rudnickij F.I.** Vlijanie uslovij jekspluatacii litogo metallorezhushhego instrumenta na osobennosti ego iznashivaniya i stojkost'. Chast' 2. Rezul'taty stojkostnyh ispytanij [Influence of the operating conditions of a cast metal-cutting tool on the characteristics of its wear and durability. Part 2. Results of resistance tests]. *Trenie i iznos = Friction and wear*, 2008, vol. 29, no. 2, pp. 198–203.
3. **Rudnickij F.I.** Osobennosti jekspluatacii instrumenta iz litoj bystrorezhushhej stali [Features of the operation of tools made of cast high-speed steel]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2006, no. 2, ch. 2, pp. 173–177.
4. **Dolgij L.P., Kalinichenko M.L., Kalinichenko V.A., Lushhik P.E.** Poluchenie izdelij otvetstvennogo naznachenija iz iznosostojkogo chuguna ChH16M2 [Obtaining critical products from wear-resistant cast iron ChKh16M2]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2002, no. 1, pp. 8–11.