

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.746.34

Леушин И.О., Вахидов У.Ш., Кошелев О.С., Ларин М.А., Рябова Л.И.

ПРИБЫЛЬНАЯ НАДСТАВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

Аннотация. При производстве металлических слитков прибыльная надставка играет важнейшую роль, поскольку она используется для теплоизоляции головной части слитка (прибыли). Воспринимая тепловую нагрузку, прибыльная надставка должна обладать высоким эксплуатационным ресурсом работы, который в условиях производства чаще всего оценивается числом наливов – заливок металлическим расплавом изложницы с прибыльной надставкой до появления таких браковочных признаков, как коробление и трещины в местах сопряжения корпуса надставки с нижней полкой, сетка разгара на поверхности, контактирующей с расплавом, просечки на поверхности головной части слитка. В центре внимания авторов статьи находится прибыльная надставка к литой чугунной изложнице, применяемой для производства слитков массой 5,3 т из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Цель работы – повышение эффективности тепловой работы и эксплуатационной стойкости прибыльной надставки посредством выбора ее оптимальной конструкции. Для этого проведено совершенствование надставки известной конструкции, содержащей металлический корпус с верхней и нижней полками, расположенными с наружной стороны корпуса, и теплоизоляцию. В ходе опытно-промышленного опробования разработки в условиях действующего производства достигнуты уменьшение области головной части слитка (прибыли), пораженной усадочными дефектами, отсутствие коробления и трещин в теле надставки за счет увеличения жесткости конструкции и повышение числа наливов до вывода надставки из эксплуатации.

Ключевые слова: стальной слиток, изложница, прибыльная надставка, тепловая работа, эксплуатационная стойкость

Введение

В литейно-металлургическом производстве ряда предприятий, в частности Объединенной металлургической компании, АО «Северсталь» и группы компаний «РУСПОЛИМЕТ», при получении металлических слитков различных геометрии и развеса по-прежнему широко используются изложницы с прибыльной надставкой. Прежде всего, речь идет о выпуске изделий ответственного назначения из специальных сталей и сплавов, где номенклатура достаточно широка, а объемы относительно малы и, как следствие, применение непрерывной разливки не всегда является экономически целесообразным.

При производстве слитков прибыльная надставка играет важнейшую роль, поскольку она используется для теплоизоляции головной части слитка (прибыли). Эффективность работы прибыльной надставки определяется уменьшением отвода тепла, длительностью нахождения металла в расплавленном состоянии и, как следствие, величиной области с усадочными дефектами, оцениваемой, например, отношением глубины усадочной раковины к высоте головной части слитка [1, 2].

В условиях циклических нагрузок при повышенных температурах материал прибыльной надставки, как и материал изложницы, испытывает деградацию, по мере эксплуатации снижая механические, теплофизические и эксплуатационные свойства. Это ухудшение исследователи связывают с развивающимися с течением времени структурными и фазовыми превращениями [3-5].

Очевидно, воспринимая тепловую нагрузку, прибыльная надставка должна обладать высоким эксплуатационным ресурсом работы, который в условиях производства чаще всего оценивается числом наливов – заливок металлическим расплавом изложницы с прибыльной надставкой до появления браковочных признаков (коробление и трещины в местах сопряжения корпуса надставки с нижней полкой; сетка разгара на поверхности, контактирующей с расплавом; просечки на поверхности головной части слитка).

В этой связи внимание разработчиков уже достаточно давно фокусируется на поиске путей регулирования тепловой работы прибыльной надставки и увеличения ее эксплуатационной стойкости, причем актуальность исследований, проводимых в этом направлении, не снижается. В большинстве случаев делают попытки оптимизировать конструкцию надставки.

Так, например, известна прибыльная надставка, содержащая металлический корпус и теплоизоляционный экран, отличающаяся тем, что по периметру корпуса в верхней и нижней его частях выполнены ребра-приливы с направляющими пазами, а теплоизоляционный экран выполнен в виде пластин, установленных в направляющих пазах параллельно граням надставки [6]. Ее недостатками являются высокая трудоемкость изготовления экранов из материалов с различной степенью черноты для обеспечения требуемого уровня теплоотражающих свойств, а также необходимость их частой замены в ходе эксплуатации.

Прибыльная надставка, защищенная техническим решением [7], отличается тем, что с целью увеличения ее стойкости она снабжена армирующим каркасом, залитым в середине нижнего фланца по его периметру. Ее недостатками являются вынужденная массивность нижнего фланца для надежного размещения в ней ар-

мирующего каркаса, увеличивающая разностенность прибыльной надставки, концентрацию напряжений в местах сопряжения стенок и, как следствие, вызывающая коробление, высокую вероятность незалива каркаса металлическим расплавом по причине несвариваемости из-за различия их температур и наличия конденсата на поверхности арматуры, а также сложность фиксации каркаса в середине фланца.

Другой вариант конструктивного решения прибыльной надставки предусматривает наличие вакуумируемого корпуса с расположенными в нем экранами, причем экраны установлены с образованием отдельных вакуумируемых полостей между собой и корпусом [8]. Очевидным минусом его является необходимость применения дорогостоящего и сложного в обслуживании оборудования для вакуумирования с обязательным контролем герметичности вакуумируемых полостей.

Наибольший интерес у авторов данной статьи вызвала прибыльная надставка, содержащая металлический корпус, полки с пазами, расположенными с наружной стороны корпуса, и теплоизоляция, отличающаяся тем, что она снабжена распорками в виде штырей, установленных в пазах полки, причем нижняя полка имеет толщину, равную 1,1-1,6 толщины корпуса, а толщина корпуса равна 0,02-0,06 приведенного диаметра корпуса в средней по высоте части, при этом теплоизоляция состоит из пористого материала, размещенного между полками, и теплоизоляционного экрана из листовой стали [9]. Этот вариант конструкторского решения тоже оказался не свободным от недостатков. В первую очередь к ним была отнесена разностенность конструкции надставки в части нижней, верхней полки и корпуса, в условиях термомеханических нагрузок ведущая к накоплению напряжений в зоне сопряжения полки с корпусом, особенно нижней полки с корпусом, вплоть до коробления, образования, развития трещин и разрушения. В дополнение к этому установка штырей в качестве распорок параллельно стенке корпуса трудно реализуема на практике, не препятствует механическим воздействиям на надставку при термоциклировании в направлении, ортогональном ее вертикальной оси симметрии, и, как следствие, в должной степени не способствует обеспечению жесткости конструкции. В свою очередь, использование листовой стали в качестве теплоизоляционного экрана, как показывает опыт, требует тщательной и трудоемкой подготовки для обеспечения требуемого уровня их теплоотражающих свойств и не гарантирует минимизации тепловых потерь по причине неизбежных зазоров между соседними листами.

Цель работы – повышение эффективности работы и эксплуатационной стойкости прибыльной надставки посредством выбора ее оптимальной конструкции. Ожидаемый технический результат – уменьшение области головной части слитка (прибыли), пораженной усадочными дефектами, отсутствие коробления и трещин в теле надставки за счет увели-

чения жесткости конструкции и повышение числа наливов до вывода надставки из эксплуатации.

В работе представлены результаты соответствующих исследований, выполненных группой ученых Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева (НГТУ).

Материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

В центре внимания авторов данной статьи в качестве объекта исследования находилась литая чугуновая (на базе СЧ15) прибыльная надставка к изложнице, применяемая в электрометаллургическом цехе АО «РУСПОЛИМЕТ» для сифонной заливки стальных четырехгранных кузнечных слитков массой 5,3 т из стали 12Х18Н10Т. Исследования проводились в условиях действующего производства.

В качестве ориентира – прототипа для разработки – была выбрана прибыльная надставка, содержащая металлический корпус с верхней и нижней полками, расположенными с наружной стороны корпуса, и теплоизоляцию, описанная выше в [9]. Позитивные ожидания полного или частичного устранения недостатков авторы данной статьи связывали с конструктивными изменениями прототипа и поиском доступного и технологичного материала теплоизоляции.

Предлагаемый вариант имеет следующие отличия от прототипа:

- нижняя полка прибыльной надставки имеет толщину, равную 1,1-1,2 толщины корпуса, радиус сопряжения стенки корпуса с его нижней полкой равен полусумме толщин их стенок;

- по периметру корпуса у его основания, прилегающего к нижней полке, располагается не менее трех ребер жесткости толщиной, равной 0,6-0,7 толщины нижней полки;

- пространство между верхней, нижней полками и корпусом, в котором размещена теплоизоляция, по всему периметру снаружи закрыто герметичным кожухом;

- в качестве теплоизоляции используется воздух.

Была сформулирована рабочая гипотеза о положительном влиянии перечисленных отличий на эффективность работы и эксплуатационную стойкость прибыльной надставки.

Конструкция предлагаемой прибыльной надставки представлена на рис. 1.

Прибыльная надставка состоит из металлического корпуса 1 с верхней 2 и нижней 3 полками, герметичного кожуха 4 и теплоизоляции 5. Герметичный кожух 4 служит для защиты теплоизоляции 5 и обеспечения эффекта термостатирования. Теплоизоляция 5 не расходуется, а затвердевающий слиток не контактирует с теплоизоляцией и не загрязняется ею. В качестве теплоизоляции используется любой неметаллический пористый материал (шлаковата, каолиновая вата, волокнистый огнеупор или воздух), цапфы 6 служат для установки и снятия прибыльной надставки на верхний торец изложницы.

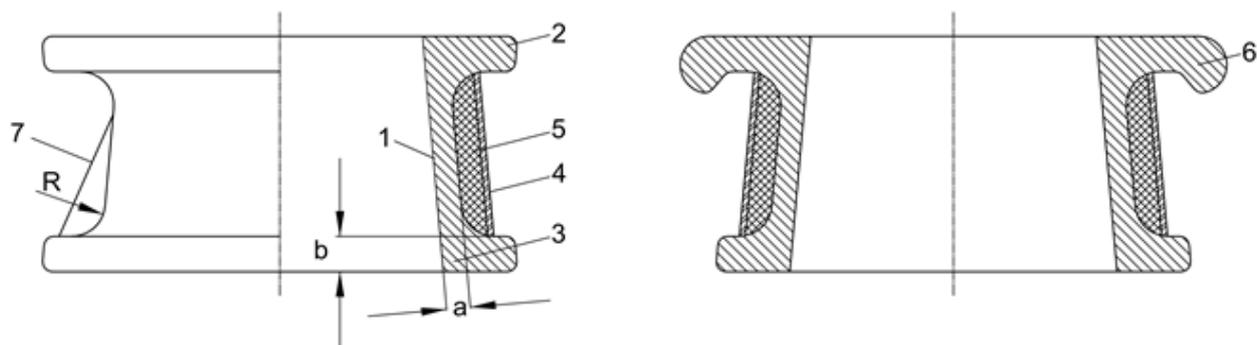


Рис. 1. Предлагаемая прибыльная надставка:
1 – металлический корпус; 2 – верхняя полка; 3 – нижняя полка; 4 – герметичный кожух;
5 – теплоизоляция; 6 – цапфа

Перед заливкой металлическим расплавом прибыльная надставка устанавливается нижней полкой на верхний торец изложницы и фиксируется с помощью прижимных скоб, закрепляемых на нижней полке надставки. За счет того, что внутренняя поверхность корпуса прибыльной надставки ровная, слиток не застревает и не «подвисает» в прибыльной части. На нее при необходимости наносится смазка из того же материала, что и на рабочую поверхность изложницы.

При работе прибыльной надставки после ее наполнения металлическим расплавом участок сопряжения стенки корпуса 1 с нижней полкой 3 по всему его периметру испытывает наибольшие термомеханические нагрузки. В этой связи для повышения жесткости конструкции и снижения рисков коробления, образования и развития трещин радиус сопряжения стенки корпуса с его нижней полкой R выполняется равным полусумме толщин их стенок ($R = (a + b) / 2$), а по всему периметру корпуса у его основания, прилегающего к нижней полке, располагается не менее трех ребер жесткости 7, имеющих толщину, равную 0,6-0,7 толщины нижней полки (рекомендации [10]). Это, в свою очередь, дает возможность уменьшить тепловой узел и снизить толщину нижней полки до уровня 1,1-1,2

толщины корпуса, что уменьшает вероятность образования «мостов» затвердевающего металла в нижней части прибыльной надставки («подвисание» слитка в прибыльной части). На рис. 2 представлены примеры расположения ребер жесткости в соответствии с заявленным решением.

Оценку эксплуатационной стойкости изложниц выполняли по числу наливов расплава до вывода изложниц из эксплуатации на площадке АО «РУСПОЛИМЕТ» (г. Кулебаки, Нижегородская обл.).

Отношение глубины усадочной раковины к высоте головной части слитка рассчитывали по результатам измерений на продольно-осевом разрезе после отделения головной части слитка от основного тела.

Состояние рабочей поверхности прибыльных надставок на предмет выявления браковочных признаков для вывода из эксплуатации (коробление и трещины в местах сопряжения корпуса надставки с нижней полкой; сетка разгара на поверхности, контактирующей с расплавом; недопустимые просечки на поверхности головной части слитка) после каждого цикла «налив-раздевание слитка» оценивали визуальное с привлечением экспертов предприятия.

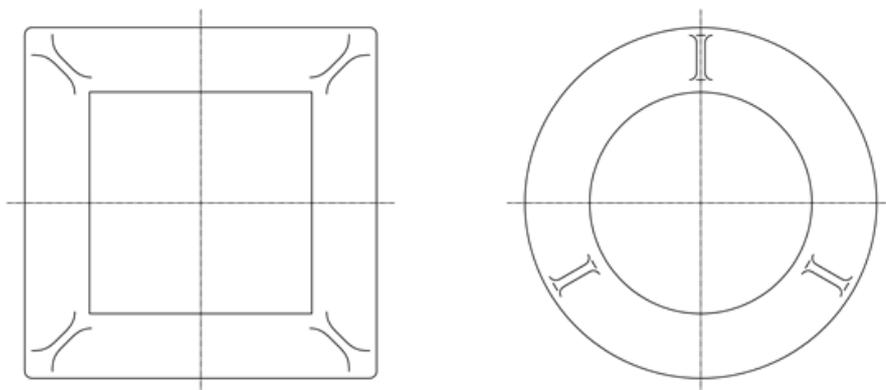


Рис. 2. Примеры расположения ребер жесткости

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях действующего производства проводили опытно-промышленные испытания прибыльной надставки предлагаемой конструкции для сравнения с прототипом.

Для получения сифонной заливкой стальных четырехгранных кузнечных слитков массой 5,3 т из стали 12Х18Н10Т изготовили две литые чугунные прибыльные надставки с приведенным внутренним диаметром в средней по высоте части, равным 880 мм, по предлагаемому решению и по прототипу. Толщина стенки корпуса была одинаковой у предлагаемого решения и прототипа и равной 52,0 мм, а толщина нижней полки – соответственно 83,2 мм у прототипа и 62,4 мм у прибыльной надставки по предлагаемому решению. Радиус сопряжения нижней полки и корпуса для прибыльной надставки по предлагаемому решению составил 72,8 мм. У предлагаемой надставки в углах корпуса у его основания, прилегающего к нижней полке, симметрично оси надставки предусмотрели четыре ребра жесткости, имеющих толщину, равную 50,0 мм.

У обеих надставок пространство между корпусом, верхней и нижней полками снаружи закрыли герметичным кожухом из тонкого стального листа, предварительно заполнив пространство материалом теплоизоляционного мата производства группы компаний «Волокнистые огнеупоры» (Россия). Защитные покрытия рабочих поверхностей изложниц и прибыльных надставок не применяли.

Металлом одной плавки заливали по две изложницы с установленными на них прибыльными надставками по предлагаемому решению и прототипу. Перед началом разлива на литник устанавливали устройство защиты струи металла аргоном типа ВУК 380/250. Для защиты металла от вторичного окисления в изложницах применяли теплоизолирующую шлакообразующую смесь Scorialit VN 203-74 (Германия), а для уменьшения усадочной раковины в прибыльной части слитков – экзотермическую смесь Ferrux 1188А (Германия), которая последовательно засыпается на слой теплоизолирующей смеси по прошествии некоторого временного интервала. Разделение (стрипперирование) слитков после их формирования проводили с помощью крана.

Оценивали эксплуатационную стойкость, отношение глубины усадочной раковины к высоте головной части слитка, а также состояние рабочей поверхности прибыльных надставок.

По итогам проведенных испытаний эксплуатационная стойкость прибыльной надставки по предлагаемому решению составила 45 наливов против 28 наливов у прототипа. При этом средняя величина отношения глубины усадочной раковины к высоте головной

части слитка у предлагаемой прибыльной надставки оказалась равной 62% при 95% у прототипа.

По результатам аналогичных испытаний, в которых в качестве теплоизолятора использовали воздух, эксплуатационная стойкость прибыльной надставки по предлагаемому решению составила 40 наливов против 22 наливов у прототипа; средняя величина отношения глубины усадочной раковины к высоте головной части слитка у предлагаемой прибыльной надставки оказалась равной 74% при 97% у прототипа.

Таким образом, были доказаны преимущества предлагаемого решения перед прототипом как по эффективности работы, так и по эксплуатационной стойкости.

Заключение

Результаты проведенной работы свидетельствуют об улучшении тепловой работы и повышении эксплуатационной стойкости прибыльной надставки предлагаемой конструкции. В ходе опытно-промышленного опробования разработки в условиях действующего производства достигнуты: уменьшение области головной части слитка (прибыли), пораженной усадочными дефектами, отсутствие коробления и трещин в теле надставки за счет увеличения жесткости конструкции и повышение числа наливов до вывода надставки из эксплуатации.

Разработка ученых НГТУ рекомендована к промышленному внедрению и в настоящее время проходит процедуру патентования.

Список источников

23. Большая Российская Энциклопедия: информационный портал [Электронный ресурс]. URL: <https://old.bigenc.ru/?ysclid> (дата обращения: 14.06.2025).
24. Зальцман Э.С. Изложницы для легированных сталей. Электросталь: ЭПИ МИСиС, 2004. 208 с.
25. Исследование деградации структуры чугуна при эксплуатации изложниц по изменению его акустических характеристик / Андреев В.В., Воронкова Л.В., Нуралиев Ф.А., Качанов В.К. // Литейное производство. 2015. №1. С. 14-16.
26. Фомихина И.В. Механизмы деградации структуры конструкционных сталей, методы повышения эксплуатационных свойств изделий из них: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.09. Минск, 2018. 46 с.
27. О деградации структуры, свойств и разрушении материала изложницы в процессе эксплуатации / Леушин И.О., Коровин В.А., Гарченко А.А., Рябова Л.И. // Теория и технология металлургического производства. 2024. №4(51). С.40-48.
28. А.с. 1025483 СССР, МПК В22D 7/10. Прибыльная надставка / Скворцов А.А., Китаев Е.М., Гуцин В.Н., Шевченко В.И.; патентообладатели Скворцов А.А., Китаев Е.М., Гуцин В.Н., Шевченко

- В.И. № 3409948; заявл. 24.03.1982; опубл. 30.06.1983.
29. А.с. 313608 СССР, МПК В22D 7/10. Прибыльная надставка / Игнатков Б.А., Мосиашвили В.В.; патентообладатель Коммунарский металлургический завод. №1465592/22-26; заявл. 27.07.1970; опубл. 07.09.1971.
30. Пат. 2067909 Российская Федерация, МПК В22D 7/10. Прибыльная надставка Зорина Олега Даниловича / Зорин О.Д.; патентообладатель Зорин О.Д. №4946739/02; заявл. 21.06.1991; опубл. 20.10.1996.
31. А.с. 1560369 СССР, МПК В22D 7/00. Прибыльная надставка / Паляничка В.А., Пан А.В., Гордиенко М.С., Митенев А.А., Белоусов А.И., Касьянова К.С.; патентообладатели Украинский научно-исследовательский институт металлов, Нижнетагильский металлургический комбинат, Ленинградский институт по проектированию металлургических заводов. №4394857; заявл. 21.03.1988; опубл. 30.04.1990.
32. Орлов П.И. Основы конструирования: справ.-метод. пособие. В 2-х кн. Кн.1. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.

Сведения об авторах

Леушин Игорь Олегович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургические технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: igoleu@yandex.ru.

Вахидов Умар Шахидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: mto@nntu.ru.

Кошелев Олег Сергеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Машиностроительные технологические комплексы», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: kos7shef3@yandex.ru.

Ларин Михаил Африканович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: mto@nntu.ru.

Рябова Любовь Игоревна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия. E-mail: kafmto@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PROFITABLE EXTENSION FOR PRODUCING STEEL INGOTS

Leushin Igor O. – DrSc (Eng.), Prof., Head of the Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

Vahidov Umar Sh. – DrSc (Eng.), Prof., Head of the Department of Construction and Road Machines, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

Koshelev Oleg S. – DrSc (Eng.), Prof., Professor of the Department of Machine-building technological complexes, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

Larin Mikhail A. – PhD (Eng.), Associate Prof., Associate Prof. of the Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

Ryabova Liubov I. – PhD (Eng.), Associate Prof., Associate Prof. of the Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia.

Abstracts. In the production of metal ingots, the riser extension plays a key role, since it is used for thermal insulation of the ingot head (rise). Perceiving the thermal load, the riser extension must have a high operational life, which in production conditions is most often estimated by the number of pourings – pouring molten metal into a mold with a riser extension before the appearance of such rejection signs as warping and cracks at the junction of the riser body with the lower shelf; a mesh of fumes on the surface in contact with the melt; punches on the surface of the ingot head. The authors of the article focus on the riser extension to a cast iron mold used to produce ingots weighing 5.3 tons from

stainless steel grade 12X18H10T. The objective of the work is to improve the efficiency of thermal work and operational durability of the riser extension by selecting its optimal design. For this purpose, an extension of a known design was improved, containing a metal body with upper and lower shelves located on the outside of the body, and thermal insulation. During the pilot testing of the development under the conditions of the current production, the following was achieved: a reduction in the area of the ingot head (rise) affected by shrinkage defects, the absence of warping and cracks in the extension body due to an increase in the rigidity of the structure and an increase in the number of pours before the extension is taken out of operation.

Keywords: steel ingot, mold, profit extension, thermal work, operational durability

Ссылка на статью:

Прибыльная надставка для изготовления стальных слитков / Леушин И.О., Вахидов У.Ш., Кошелев О.С., Ларин М.А., Рябова Л.И.// Теория и технология металлургического производства. 2025. №3(54). С. 10-15.

Leushin I.O., Vahidov U.Sh., Koshelev O.S., Larin M.A., Ryabova L.I. Profitable extension for producing steel ingots. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2025, vol. 54, no. 3, pp. 10-15.