

Рисунки к статье А.П. Моисеева,
И.А. Суркова, И.В. Тимохина,
Д.А. Герасимова

**«Разработка и оптимизация
технологии ковки дна
гидроцилиндра на основе
моделирования»**

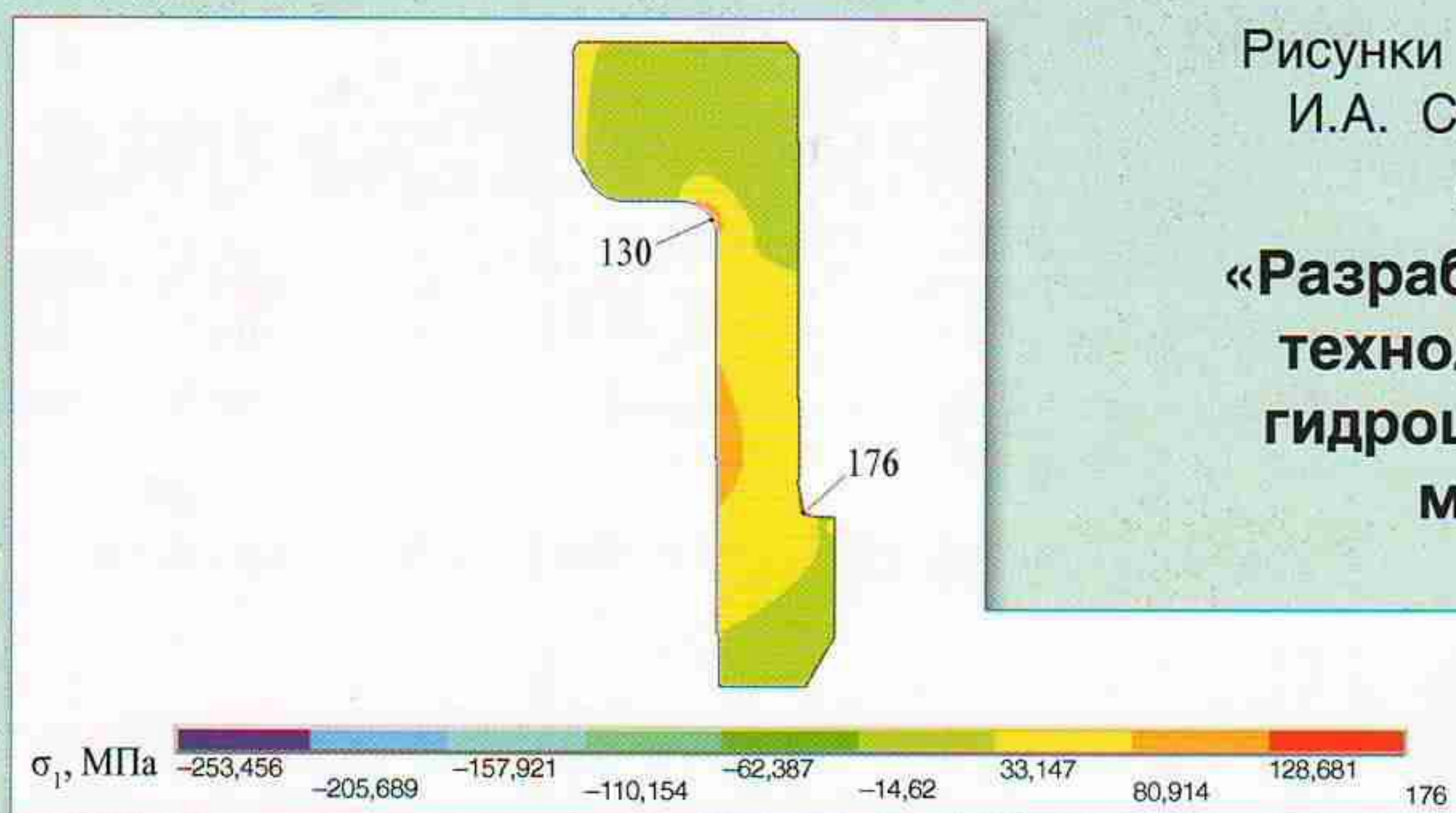


Рис. 3. Напряженное состояние σ_1
цилиндра прессы 50 МН

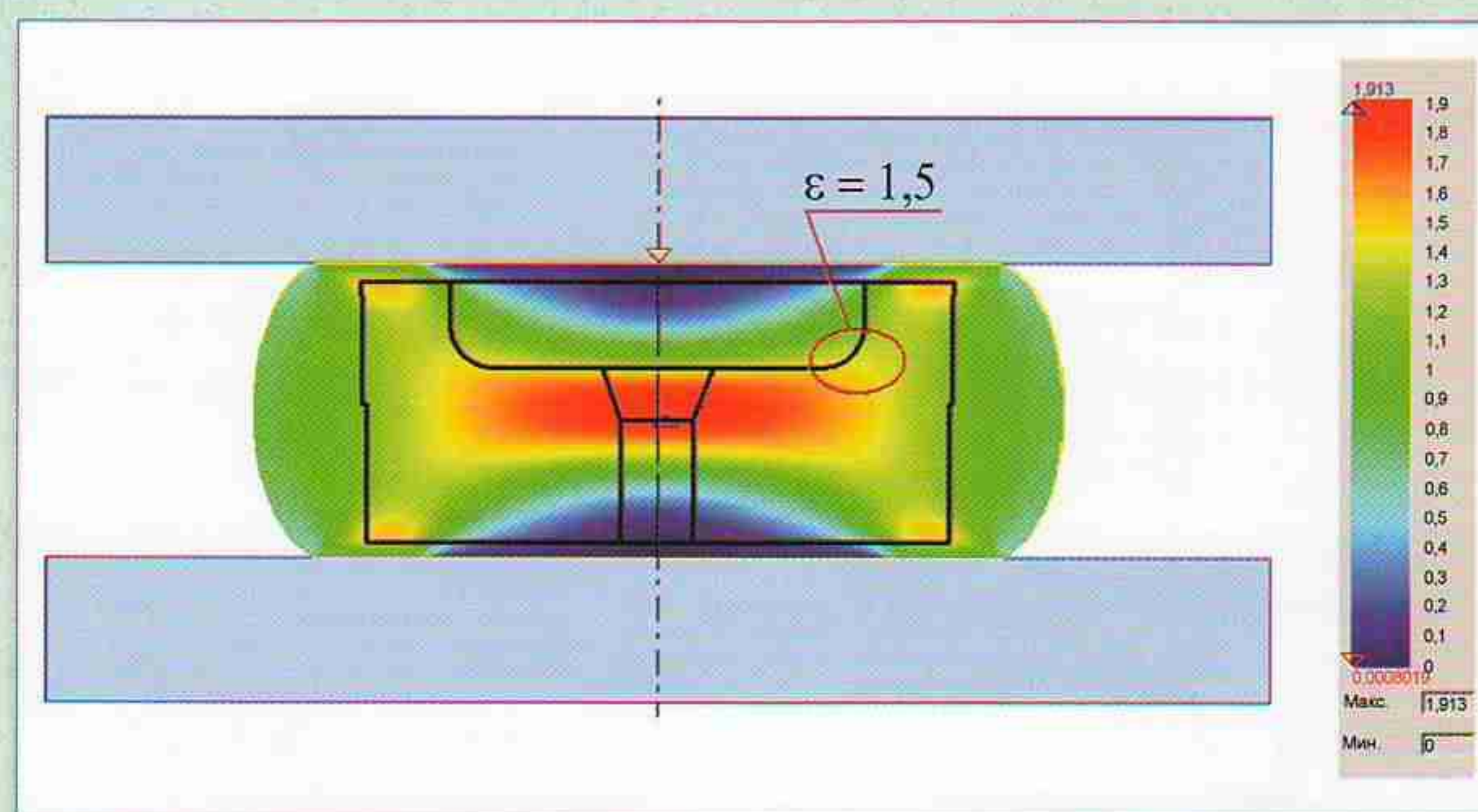


Рис. 6. Распределение накопленных
деформаций в заготовке

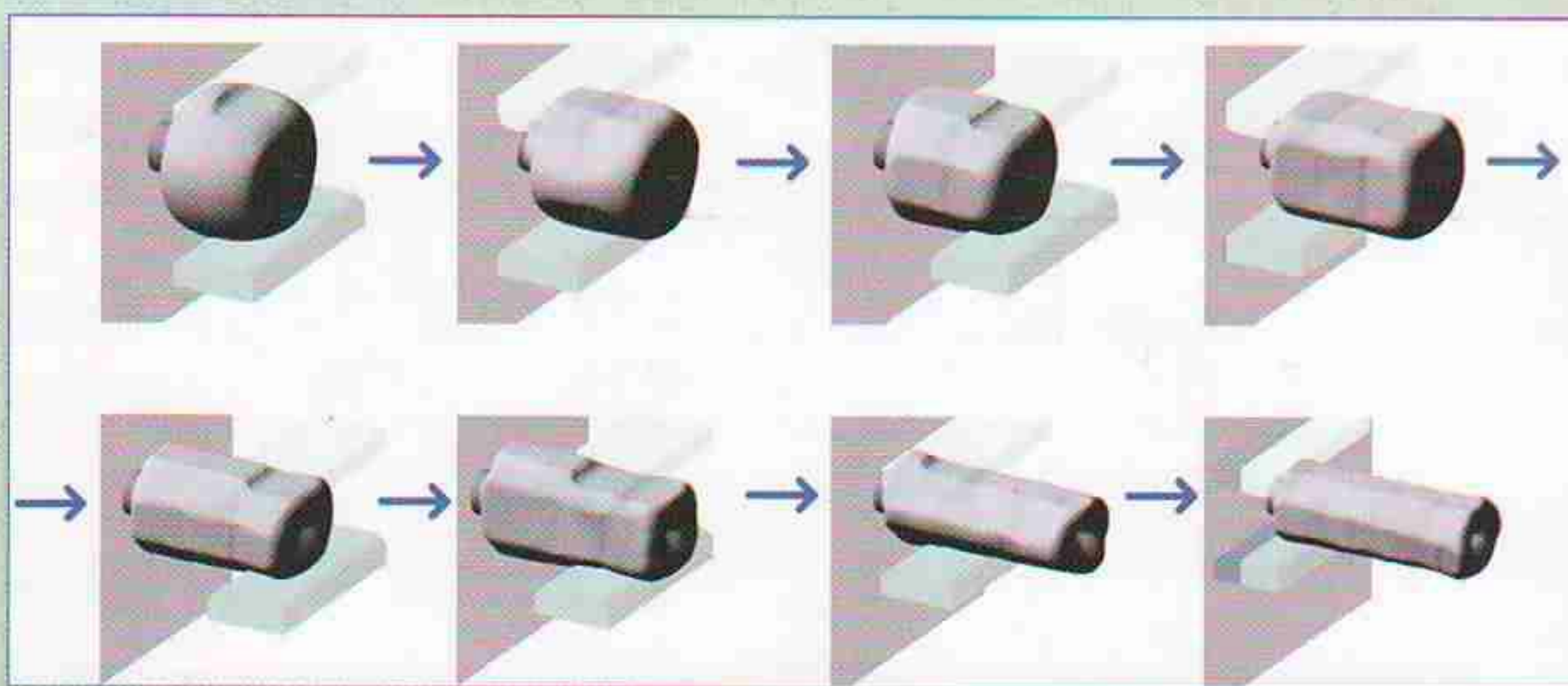


Рис. 9. Моделирование процесса
протяжки слитка

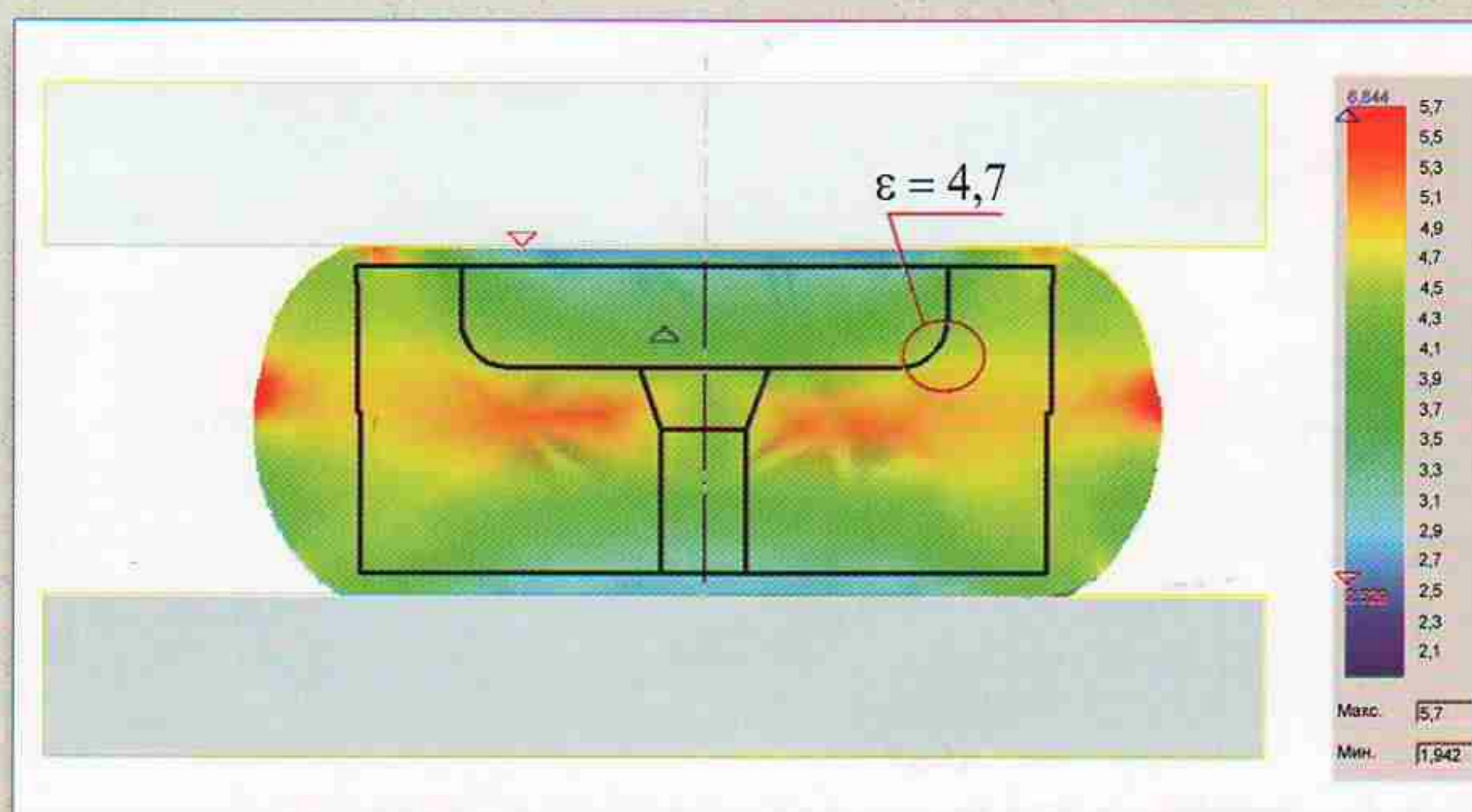


Рис. 10. Распределение накопленных
деформаций в заготовке

А.П. Моисеев, И.А. Сурков, И.В. Тимохин (ООО "Надежность Плюс", Москва),
Д.А. Герасимов (ООО "КвантоФорм", Москва)

Разработка и оптимизация технологииковки днища гидроцилиндра на основе моделирования

Проведено сравнение технологийковки заготовок для днища цилиндра гидравлического пресса силой 35 МН в программе QForm-3D. Показано, что для предотвращения развития усталостных трещин в галтельном переходе в днище цилиндра следует применять технологиюковки, включающую в себя осадку слитка до необходимого диаметра, протяжку с последующей обрубкой и окончательную осадку плоскими плитами.

Finite element program QForm has been used for development and optimization of the open die forging of the hydrocylinder bottom. The purpose of optimization was increasing of the fatigue limit of the material in the critical zone that is in shoulder fillet of the hydrocylinder bottom. The new open die forging technology includes upsetting of the billet, cogging, cutting and further upsetting.

Ключевые слова: цилиндр гидравлического пресса; усталостное разрушение; дефекты слитка; моделирование; QForm.

Keywords: cylinder of hydraulic press; fatigue failure; defects of ingot; modeling; QForm.

Периодически повторяющиеся поломки цилиндров гидравлических прессов, работающих с большим числом нагружений за смену, часто рассматриваются персоналом завода как закономерное явление, особенно, если цилиндр проработал достаточно длительное время. В то же время, разрушение цилиндра сопряжено со значительными экономическими потерями, связанными, во-первых, с затратами на изготовление нового цилиндра, а во-вторых, с длительным простоем пресса или даже целой прессовой линии в случае отсутствия запасного цилиндра.

Разрушение цилиндров, как правило, имеет усталостный характер и образуется в следующих местах:

- 1) в месте галтельного перехода днища в стенку цилиндра;
- 2) в месте галтельного перехода бурта (фланца) в стенку цилиндра;
- 3) на внутренней поверхности стенки цилиндра.

В последнем случае поломки цилиндров чаще вызываются дефектами, внесенными при механической обработке, например, из-за подреза стенки при демонтаже бронзовой втулки. Анализ большого количества разрушений показал, что и в первом, и во втором случаях разрушения однотипны и вызваны усталостью металла обычно из-за высокой концентрации напряжений в галтели. Основной причиной концентрации напряжений являлись ошибки, допущенные на стадии проектирования базовых деталей, заключающиеся либо в неправильном выборе геометрических соотношений самого цилиндра, либо в создании таких условий совместной работы цилиндра и поперечины, в которую он монтируется, при которых не обеспечивалось равномерное опирание цилиндра по фланцу.

На рис. 1 представлена схема разрушения цилиндра пресса силой 50 МН. Цилиндр изготовлен из ковальной стали 35. Механические свойства и характеристики сопротивления усталости и хрупкому разрушению этой стали подробно исследованы специалистами ПО "Уралмаш", г. Екатеринбург (Пылайкин П.А. Анализ разрушений базовых деталей мощных гидравлических прессов // Кузнечно-штамповочное производство. 1966. № 3. С. 21–27.)



Рис. 1. Схема разрушения цилиндра пресса 50 МН

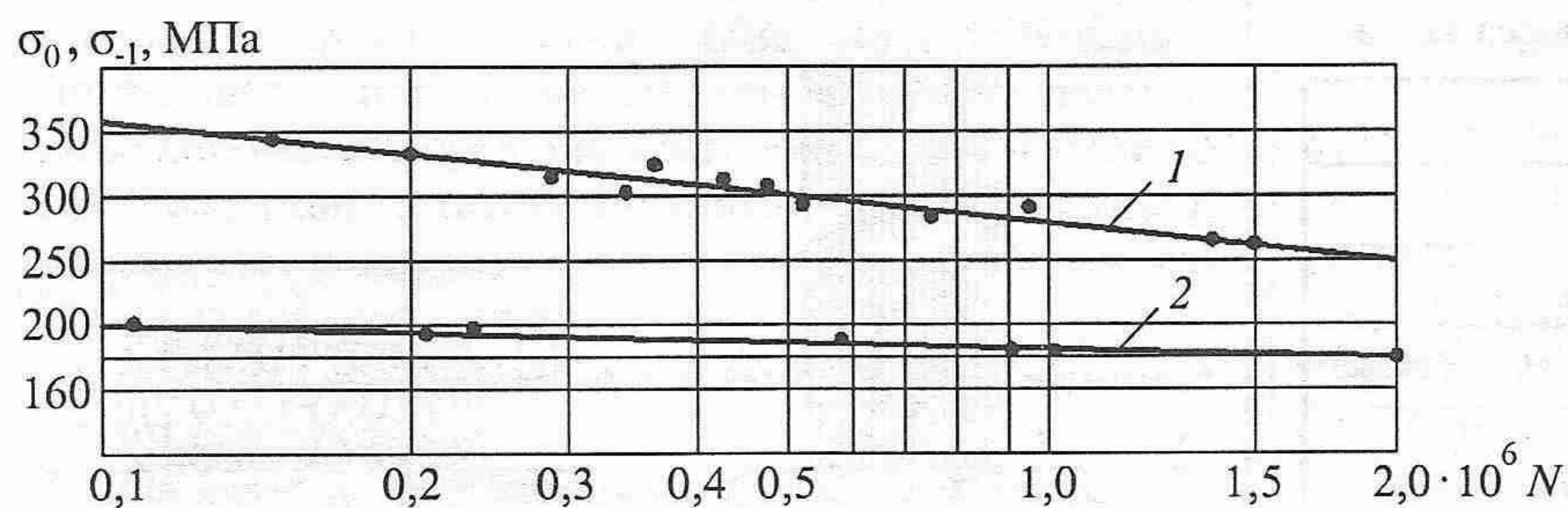


Рис. 2. Результаты усталостных испытаний образцов из стали 35 при симметричном и пульсирующем циклах:

1 — $\sigma_0 = 251$ МПа; 2 — $\sigma_{-1} = 182$ МПа

Как видно из результатов испытаний образцов, приведенных на рис. 2, предел выносливости при пульсирующем цикле нагружения для стали 35 на базе $2 \cdot 10^6$ циклов составляет 250 МПа.

На рис. 3 (см. обложку) представлено напряженное состояние цилиндра прессы 50 МН, полученное расчетом по методу конечных элементов в осесимметричной постановке. Величина растягивающих напряжений в области галтели дна составляет $\sigma_1 = 130$ МПа, что почти вдвое ниже предела выносливости кованой стали 35. Стоит также отметить, что максимальные растягивающие напряжения возникают в области галтели фланца, однако разрушение произошло по галтели дна. Аналогичные трещины были обнаружены в днище цилиндра прессы силой 35 МН, изготовленного из той же стали. Расчет напряженного состояния этого цилиндра показал, что максимальные растягивающие напряжения в галтели дна достигали значения $\sigma_1 = 170$ МПа, что также существенно ниже предела выносливости стали.

Характеристики сопротивления усталости этой стали исследовали на крупногабаритных образцах, поэтому объяснить произошедшие разрушения снижением предела выносливости из-за влияния масштабного фактора нельзя.

Разрушения по такой же схеме происходили ранее в цилиндрах, изготовленных из стали 25 ГС, на прессах силой 30 и 70 МН для производства железнодорожных колес.

Цилиндры прессов 30, 35, 50 и 70 МН, о разрушении которых указано выше, имели сварно-кованные корпуса. Заготовка дна после осадки и токарной обработки приваривается к откованной обечайке и затем проводится их совместная механическая обработка. Конструкторами ПО "Уралмаш" было сделано предположение, что одна из причин снижения сопротивления усталости стали в зоне галтельного перехода дна связана с технологией его изготовления [1]. В центральной зоне слитка образуются внецентренные ликвации, которые при ковке слитка смещаются к периферийной части заготовки. Попадание областей ликваций на поверхность галтели в зоне действия макси-

мальных растягивающих напряжений существенно снижает прочность материала при циклических нагрузках и является причиной возникновения трещин усталости.

Для проверки данного предположения в программе QForm-3D [2, 3] в осесимметричной постановке смоделирован процесс осадки плоскими плитами заготовки дна цилиндра прессы 35 МН. На рис. 4 показан чертеж дна цилиндра. Исходные данные для моделирования приведены в таблице.

На рис. 5 приведено искривление лагранжевых линий после осадки слитка. Для наглядности на слиток наложен чертеж дна цилиндра после токарной обработки. При ковке слитка лагранжевы линии в области галтели разворачиваются. Таким образом, после токарной обработки внутренней части поковки шнуры ликваций выходят на поверхность галтели в направлении, близком к нормальному и, соответственно, перпендикулярном направлению действия максимальных растягивающих напряжений.

На рис. 6 (см. обложку) показано распределение накопленных деформаций в заготовке. Распределение накопленных деформаций имеет неравномерный характер и по высоте слитка, и в радиальном направлении. После токарной обработки наиболее проработанной будет центральная зона дна, величина накопленных деформаций составляет $\varepsilon = 1,8$. В зоне галтельного перехода наблюдается снижение интенсивности деформирования металла, а $\varepsilon = 1,5$.

Таким образом, при данной технологии изготовления дна цилиндра существует возможность получения металла с незаваренными внутренними дефектами в зоне галтельного перехода, ориентированными перпендикулярно действию максимальных растягивающих напряжений, что неизбежно приведет к снижению характеристик сопротивления усталости в этой зоне.

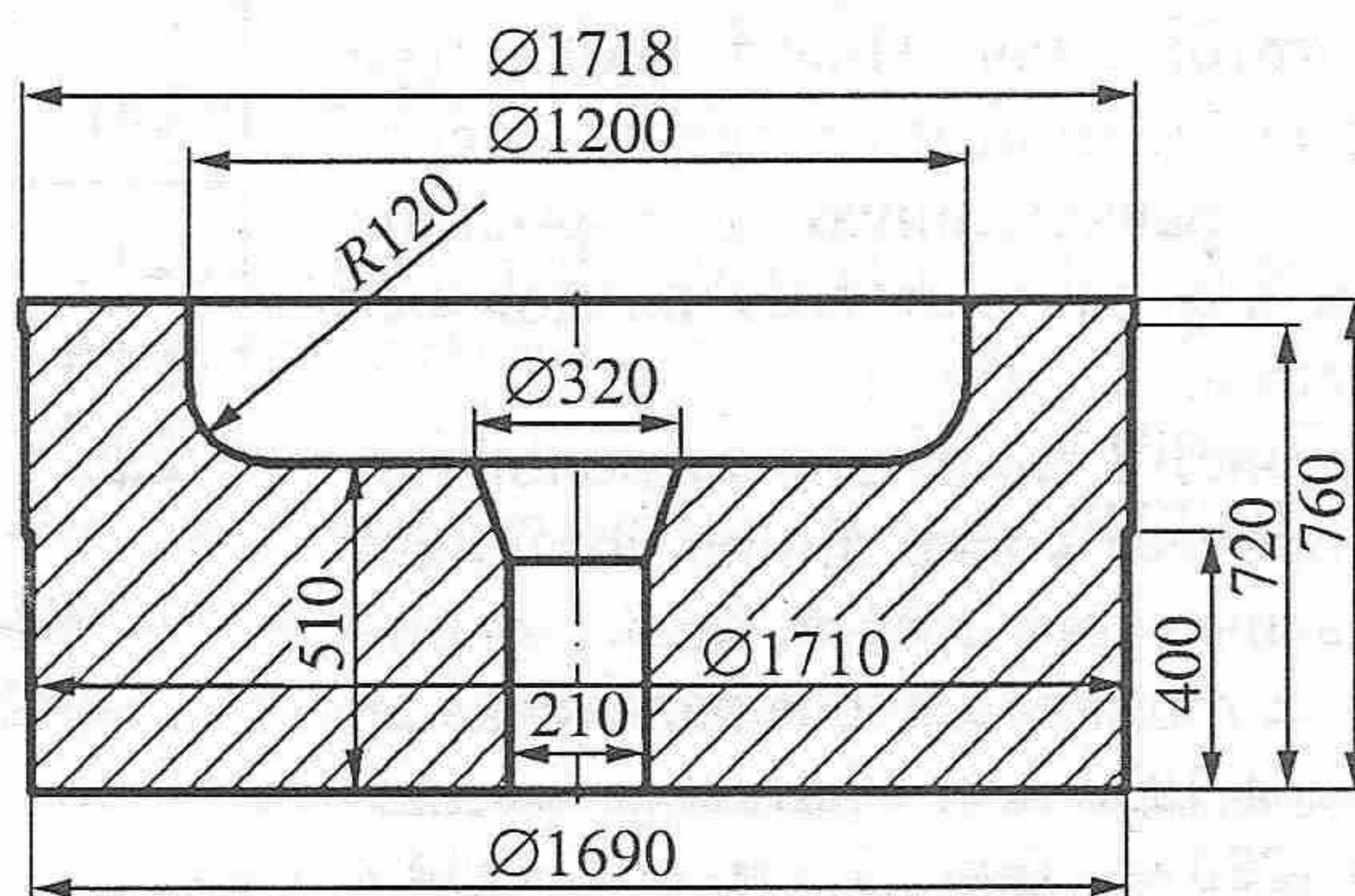
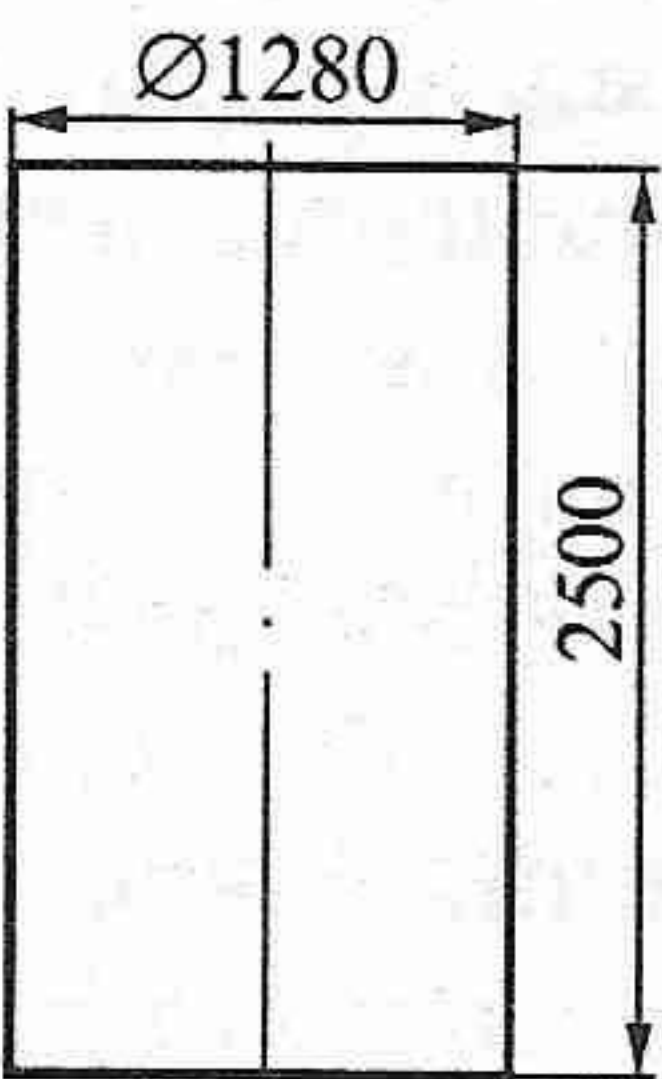
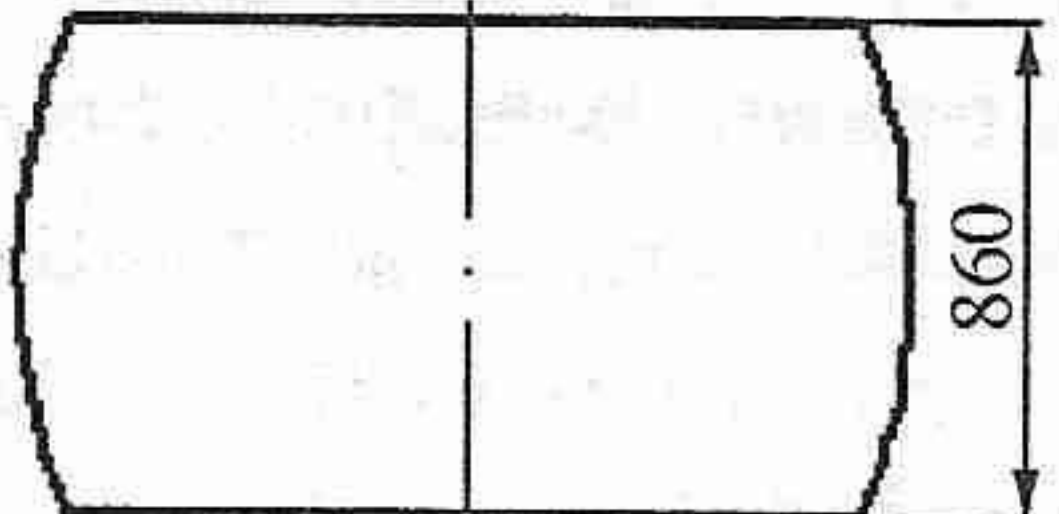


Рис. 4. Чертеж дна цилиндра прессы 35 МН

Исходные данные для моделирования процессаковки

Параметр	Значение
Номинальная скорость, мм/с	35
Смазка инструмента	Нет
Материал заготовки	Сталь 35
Температура заготовки в начале процесса, °С	1250 (среднее значение)
Температура верхнего и нижнего инструментов, °С	250
Время транспортировки заготовки от индуктора к прессу, с	240
Исходные габаритные размеры заготовки, мм	
Габаритные размеры заготовки после осадки, мм	

Результаты моделирования подтверждаются данными усталостных испытаний [1] на образцах, вырезанных из разных участков дна разрушенного цилиндра прессы 70 МН. На рис. 7 представлены схемы вырезки образцов и результаты испытаний. В центральной зоне дна цилиндра предел выносливости стали при пульсирующем цикле нагружения составил 230 МПа, при этом в галтельной части – 165 МПа.

Устранение причины снижения предела выносливости в галтельной зоне дна цилиндра может быть достигнуто за счет изменения технологии его изготовления. Новая технология должна обеспечивать более интенсивную и равномерную деформацию слитка для заварки всех возможных внутренних дефектов.

На рис. 8 приведен технологический процессковки дна цилиндра гидравлического прессы. Ковка происходит за три выноса: осадка слитка до диаметра 1920 мм, протяжка до диаметра 1280 мм (рис. 9, см. обложку) с последующей обрубкой и окончательная осадка плоскими плитами. Моде-

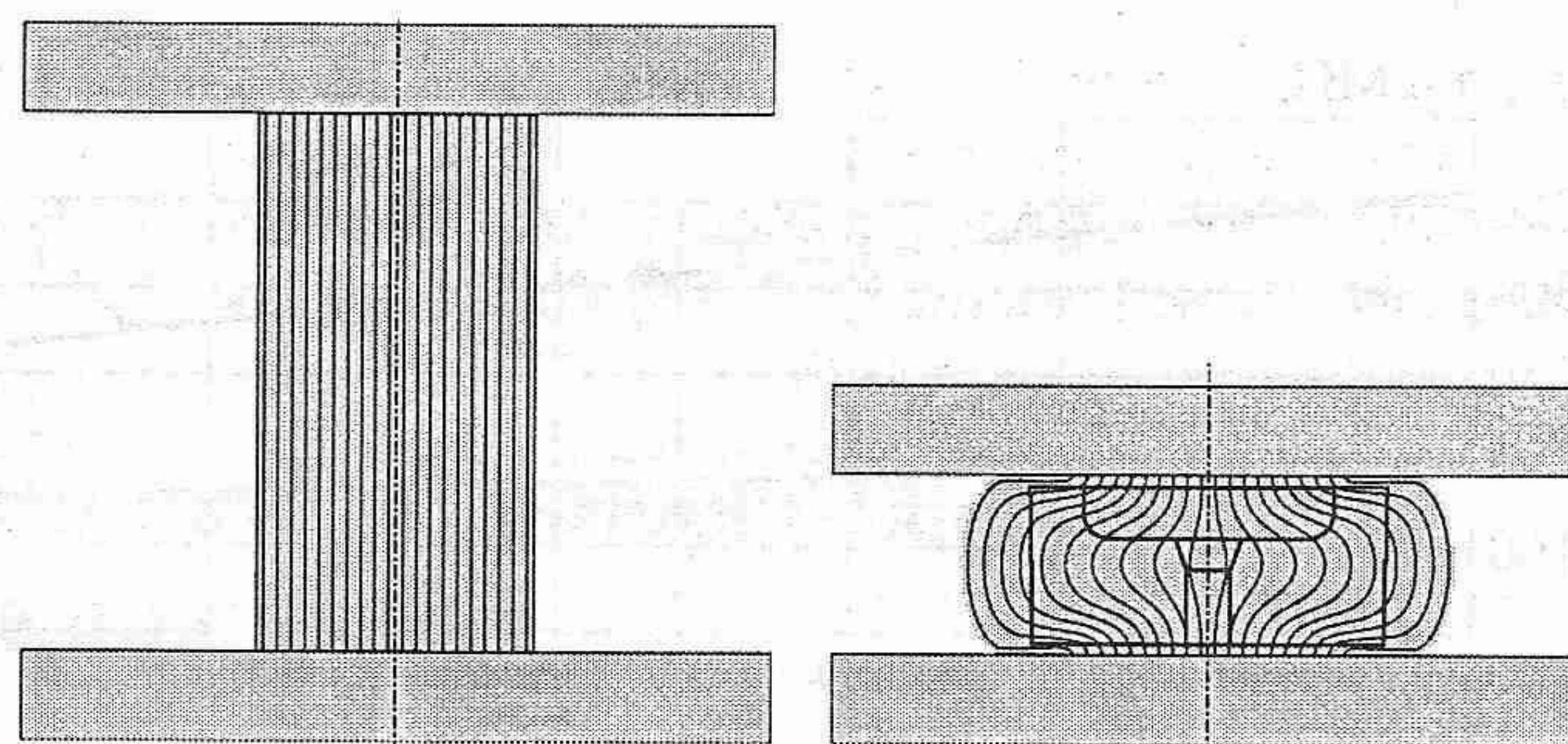


Рис. 5. Искривление лагранжевых линий при осадке слитка

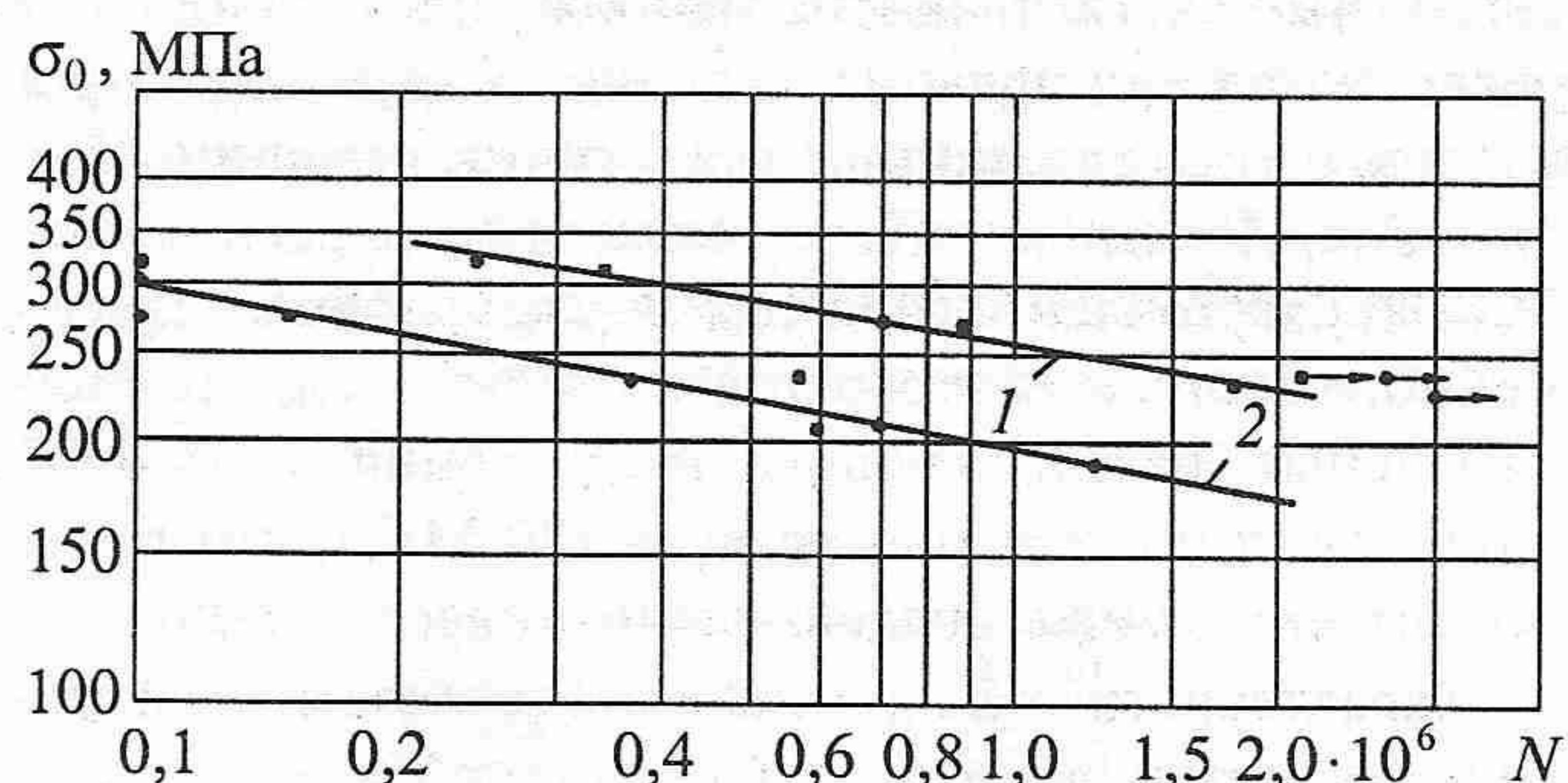
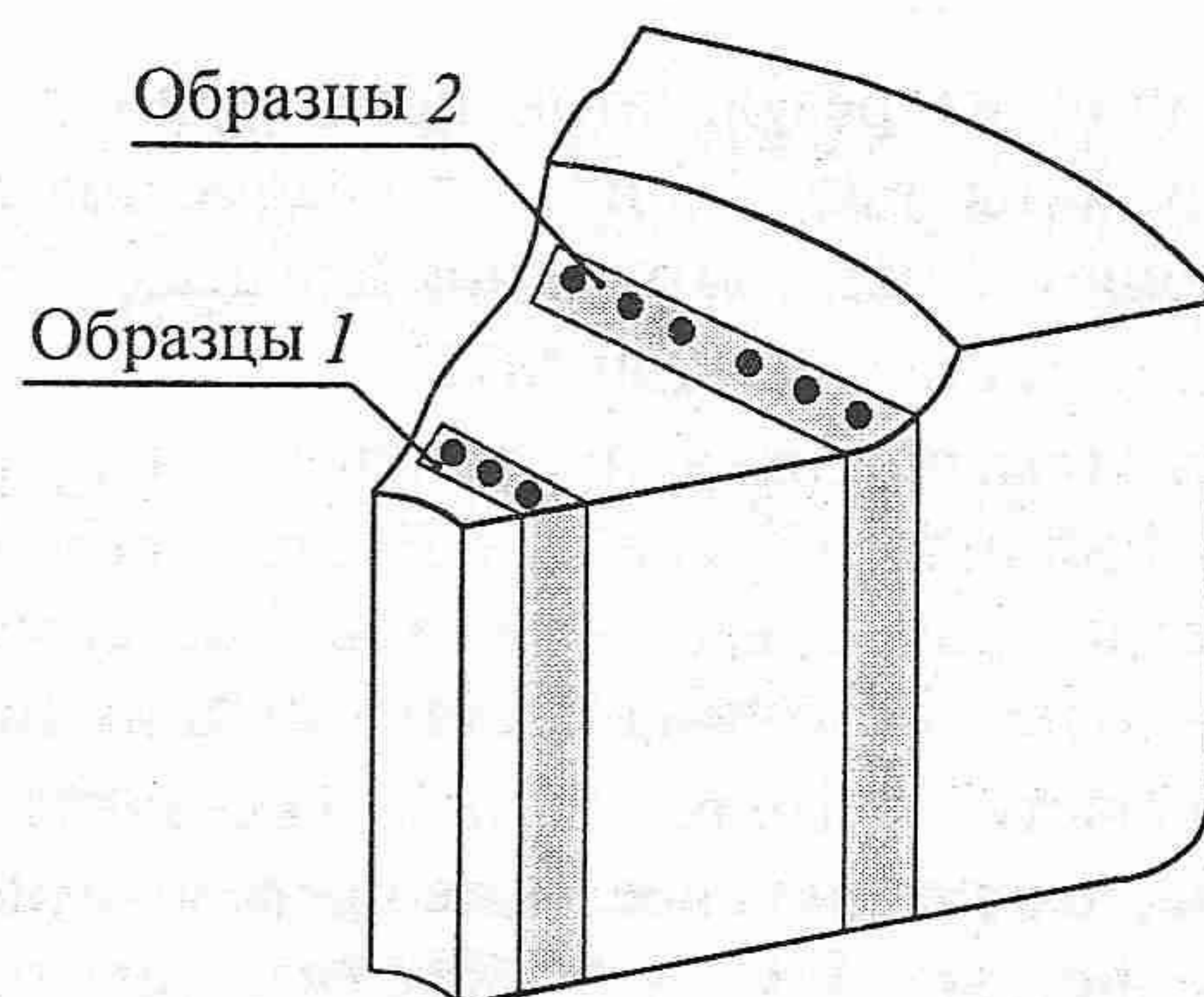


Рис. 7. Схема вырезки образцов 1 и 2 из дна цилиндра прессы 70 МН (сталь 25ГС) и результаты усталостных испытаний

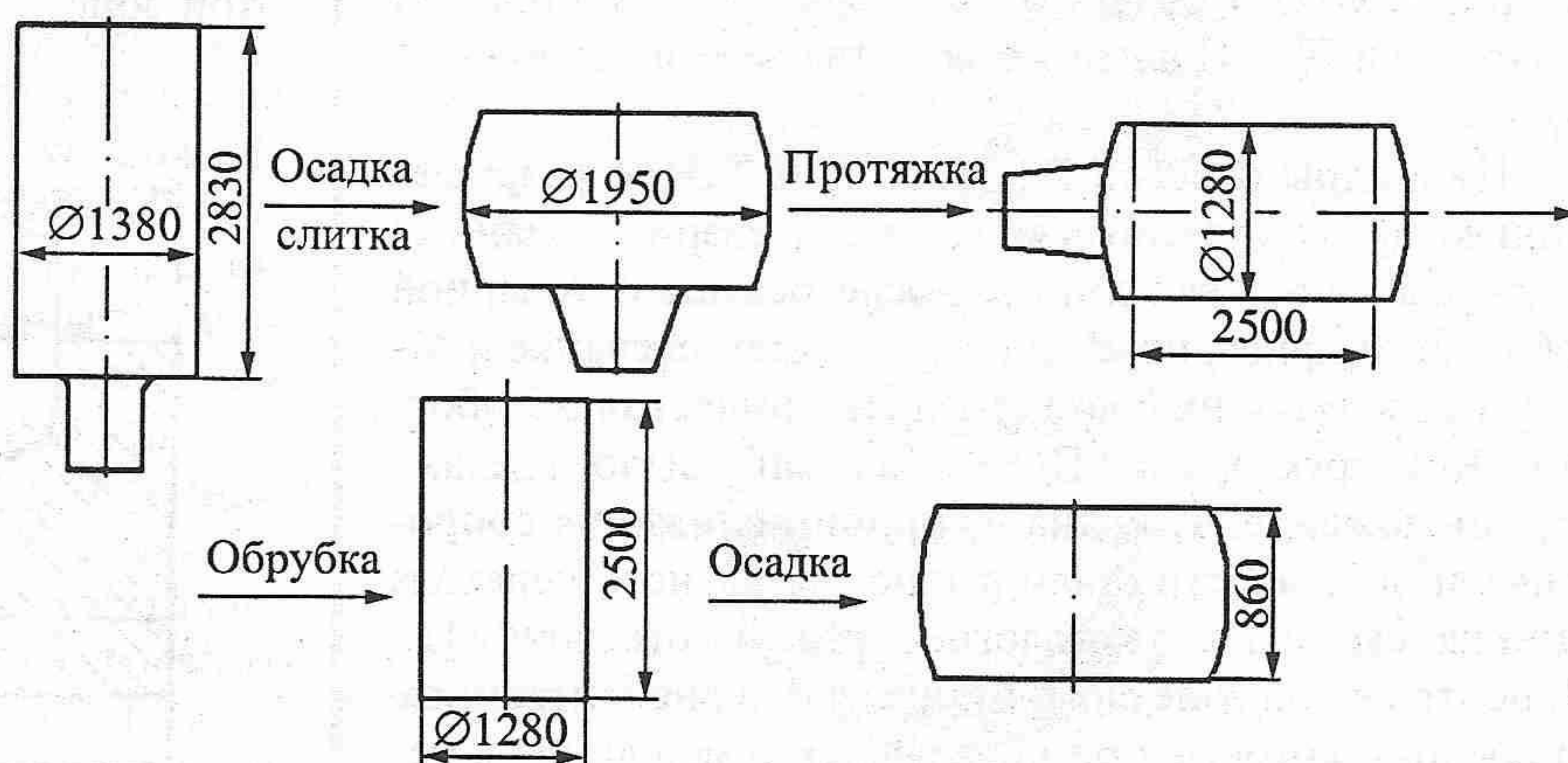


Рис. 8. Технологический процессковки дна цилиндра гидравлического прессы

лирование процессаковки проведено в трехмерной постановке в программе QForm-3D. Распределение накопленных деформаций в заготовке, полученной по предложенной технологии (рис. 10, см. обложку), имеет более равномерный характер, а величина накопленных деформаций в области галтельного перехода составляет $\varepsilon = 4,7$, что втрое выше по сравнению с простой осадкой слитка.

Заключение. В программе QForm-3D проведено моделирование процессаковки заготовки днища гидравлического пресса силой 35 МН по двум технологиям. Установлено, что при простой осадке слитка в галтельной зоне днища металл недостаточно проработан, и могут оставаться незаваренными внутренние дефекты, ориентированные перпендикулярно действию максимальных напряжений, что приводит к снижению характеристик сопротивления усталости. Измененная технология дает более равномерную проработку структуры материала. Значения накопленных деформаций в опасной зоне — в области галтели днища цилиндра — примерно в 3 раза больше, чем при однократной осадке слитка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников В.И., Монахов-Ильин Г.П., Пылайкин П.А., Сурков А.И. Характеристики сопротивления усталости и хрупкому разрушению сталей для изготовления базовых деталей мощных прессов // Труды ВНИИМЕТМАШ, 1988. С. 76–84.
2. Биба Н.В. Разработка и применение программы моделирования трехмерной объемной штамповки QForm2D/3D // САПР и графика. 2001. № 9.
3. Biba N., Stebunov S., Lishny A., Vlasov A. New approach to 3D finite-element simulation of material flow and its application to bulk metal forming / 7-th International Conference on Technology of Plasticity, 27 Oktober – 1 November, 2002, Yokohama. P. 829–834.

Артём Павлович Моисеев, главный инженер;
Иван Александрович Сурков, зам. генерального
директора, канд. техн. наук,
info@nadezhnost.com;
Игорь Владимирович Тимохин, инженер-прочист;
Дмитрий Александрович Герасимов, инженер

УДК 621.73

И.П. Медведев (ОАО "КАМАЗ", г. Набережные Челны),
А.Т. Крук (Воронежский государственный технический университет)

Выбор оборудования для изготовления крупногабаритных поковок

Рассмотрена методика выбора оборудования для изготовления крупногабаритных поковок, применяемых в качестве заготовок в машиностроении. Показаны возможности и перспективы применения крупных кривошипных горячештамповочных прессов отечественного производства.

The equipment selection procedure for production of large-sized forgings used as blanks in mechanical engineering is considered. Capabilities and outlook for applying large-sized crank hot-forging presses of domestic manufacture are shown.

Ключевые слова: штамповка; работа пластической деформации; жесткость пресса; удельные показатели прессов.

Keywords: stamping; work of plastic deformation; press stiffness; specific indicators of presses.

В машиностроении применяется большое количество крупногабаритных поковок для деталей авиационных двигателей, большегрузных автомобилей, летательных аппаратов, другой транспортной техники.

Большинство кузнечно-прессового оборудования для изготовления заготовок установлено на заводах десятки лет назад и требует обновления. Модернизация и ремонт имеющихся станков связаны не только с большими затратами (нередко соизмеримыми со стоимостью новых изделий), но и не всегда осуществимы, так как большинство прессов было приобретено за рубежом и их выпуск давно прекращен.

Значительно проще и экономически выгоднее использовать потенциал отечественных предприятий, в

частности ОАО "Тяжмехпресс" (г. Воронеж), специализирующееся на выпуске тяжелых механических прессов.

К сожалению, в последние годы продукция завода востребована в основном за рубежом. В табл. 1 приведены данные по поставке ОАО "Тяжмехпресс" кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП) заказчикам (показана часть номенклатуры).

Даже для ведущих предприятий России значительная часть КГШП была закуплена за рубежом. По данным [1] ОАО "КАМАЗ" только отдельные виды прессового оборудования были поставлены предприятиями Воронежа и Краматорска (Украина).