

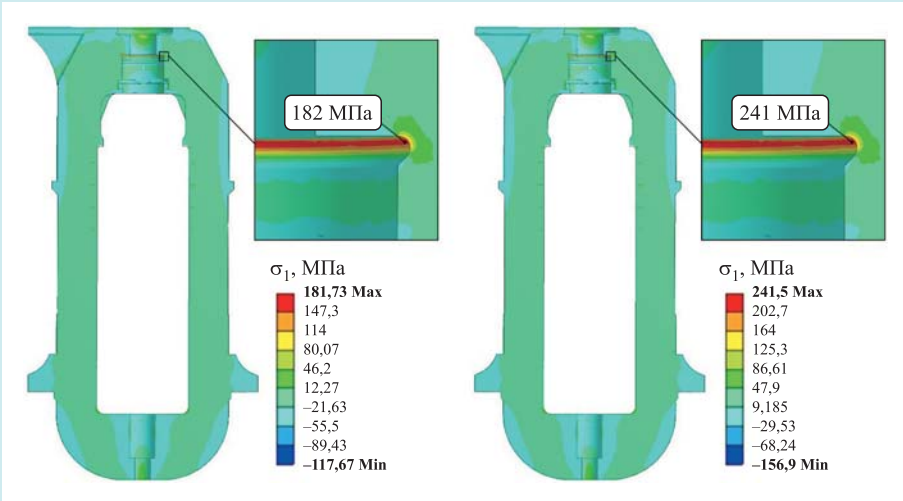


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние станины клетки при силе прокатки 30 МН (слева) и 40 МН (справа): распределение первых главных напряжений σ_1

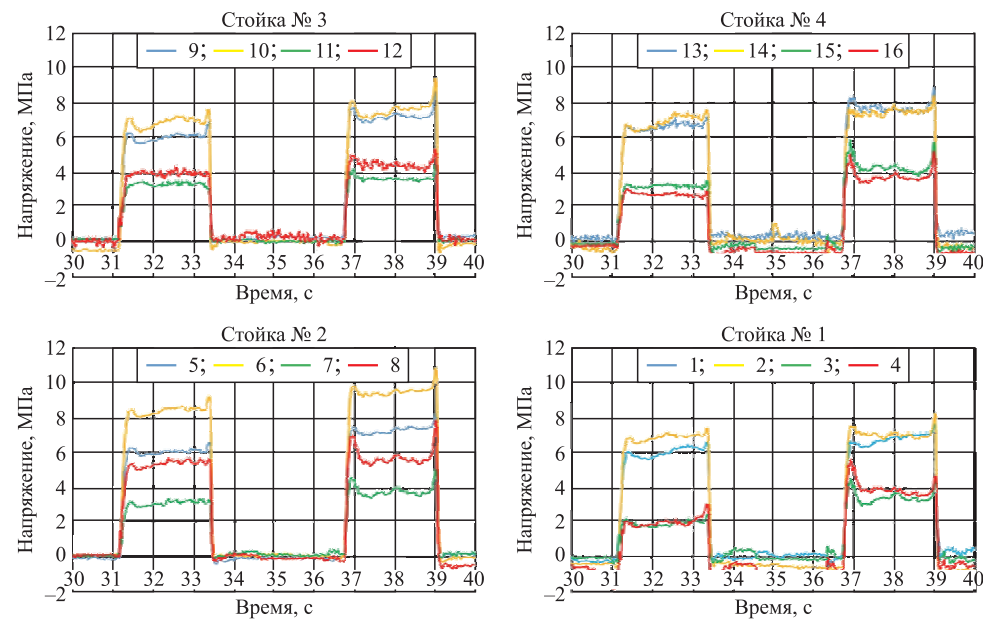


Рис. 6. Графики изменения напряжений в местах установки датчиков (1–16)

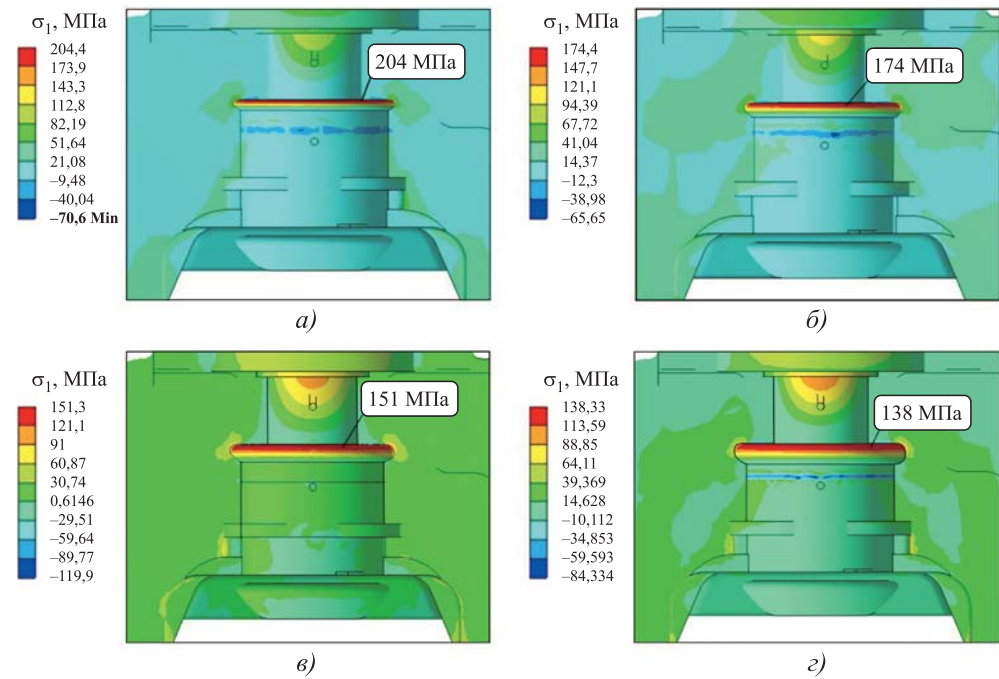


Рис. 7. Распределение первых главных напряжений σ_1 в зоне радиусного скругления:
а — 30 мм; б — 40 мм; в — 50 мм; г — 60 мм

ISSN 1684-1107. Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-прессовое, литейное и другие производства). 2026. Том 24, № 9. 389—436.
Индекс по каталогу "Пресса России" — 39205

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОЕ, ЛИТЕЙНОЕ И ДРУГИЕ ПРОИЗВОДСТВА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

Том 24
№ 9 2026



Рисунки к статье О.И. Филиппова, С.С. Полоскова, М.А. Шолохова
"Технологические требования к процессу и оборудованию для двухсторонней
двухдуговой тандем-сварки стальных резервуаров"

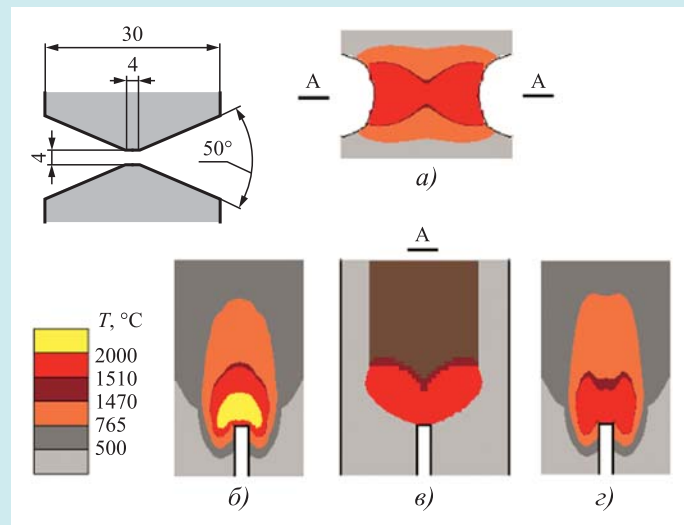


Рис. 4. Результат моделирования распределения температур при сварке в вертикальном положении сверху вниз корневого прохода при непрерывном горении на токе 240 А двух дуг с разных сторон стыка со скоростью 5 мм/с [8]:

a — предельное распределение; *б* — на поверхности шва; *в* — в плоскости симметрии; *г* — на исходной поверхности кромок

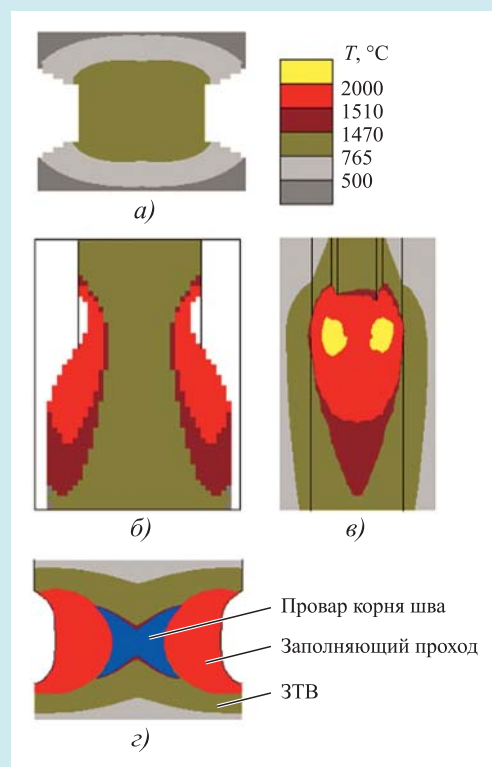


Рис. 5. Заполнение разделки при токе сварки 230 А при расстоянии между дугами 50 мм и скорости сварки 5 мм/с [12]:

a — распределение температуры подогрева в поперечном сечении перед второй дугой на расстоянии 10 мм; *б* — распределение температуры в плоскости симметрии стыка; *в* — распределение температуры на поверхности кромок; *г* — строение сварного шва после сварки заполняющего прохода, ЗТВ — зона термического влияния

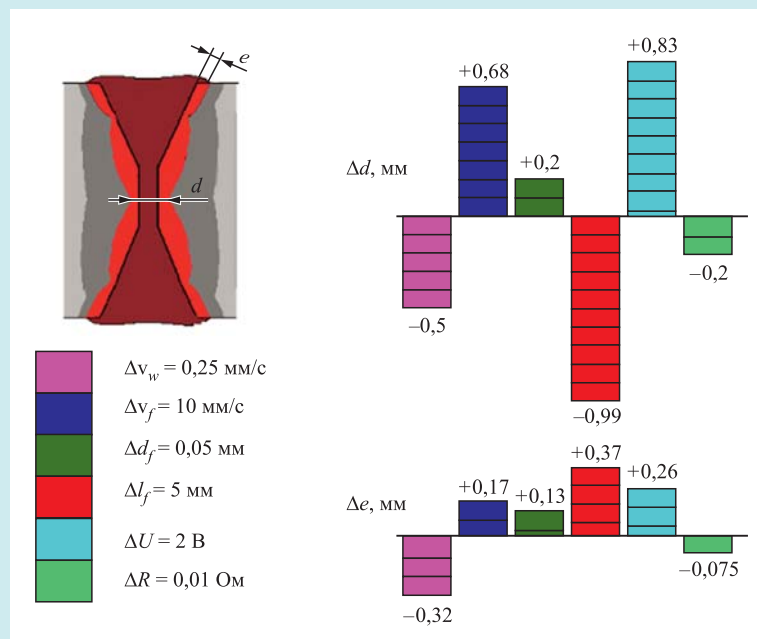


Рис. 8. Диаграмма влияния отклонения параметров режима сварки на проплавление корня *d* и кромки *e* шва при двухсторонней тандем-сварке [17]

Рисунки к статье М.О. Смирнова, Д.В. Рынденкова, А.В. Пчельникова,
Д.А. Карягина, В.Ю. Лавриненко, М.А. Солнцева, А.М. Золотова, Н.К. Лазаренко
"Исследование и разработка технологииковки слитка из железоникелевого сплава ВЖ718"

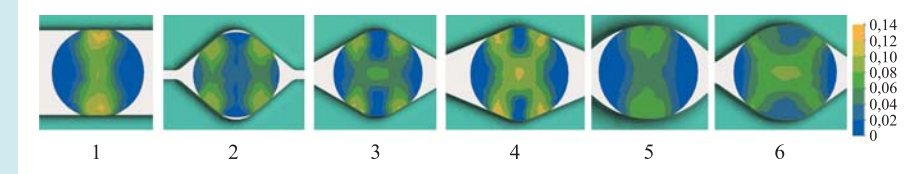


Рис. 2. Распределение интенсивности деформации в началековки (первое обжатие) по шести вариантам исполнения ковочных бойков:

1 — плоские бойки; 2, 3, 4 — вырезные бойки с углом выреза 100, 120 и 135° соответственно; 5 — комбинированные бойки; 6 — бойки с круглым вырезом с углом охвата 120°

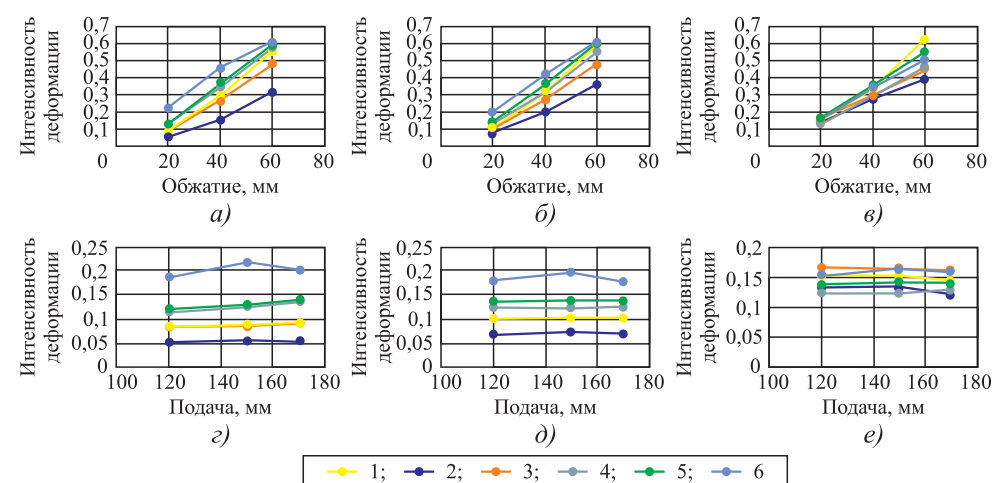


Рис. 3. Накопленная интенсивность деформации в зависимости от обжатия (*a–в*) и подачи (*г–е*):

a, г — центр прутка; *б, д* — 1/2 радиуса прутка; *в, з* — периферия прутка; 1–6 — варианты исполнения бойков

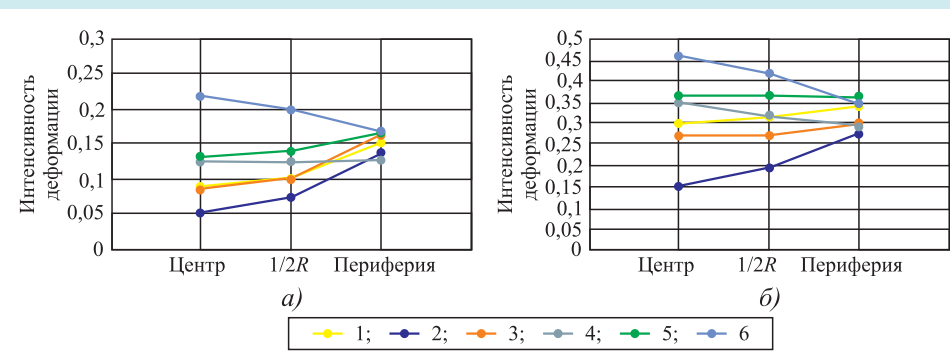


Рис. 4. Накопленная интенсивность деформации в зависимости от зоны прутка (подача 120 мм):

a — при обжатии 20 мм; *б* — при обжатии 40 мм; 1–6 — варианты исполнения бойков

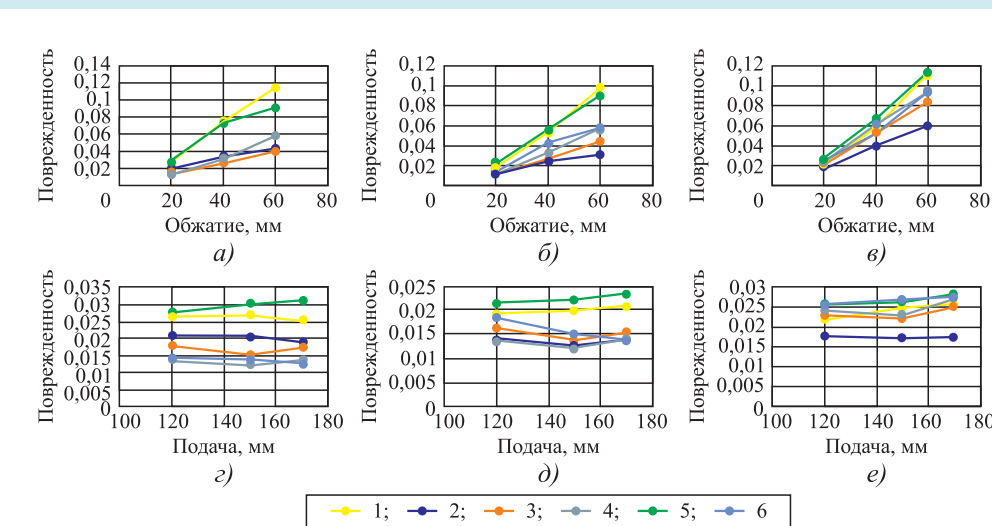
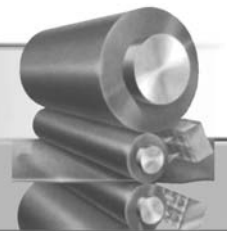


Рис. 5. Поврежденность в зависимости от обжатия (*a–в*) и подачи (*г–е*):

a, г — центр прутка; *б, д* — 1/2 радиуса прутка; *в, з* — периферия прутка; 1–6 — варианты исполнения бойков



Научная статья

УДК 621.771.063

DOI: 10.36652/1684-1107-2026-24-9-415-421

Обеспечение безотказной эксплуатации станин чистовой четырехвалковой клетки реверсивного стана 2800 горячей прокатки полос при расширении сортамента продукции и увеличении силы прокатки

Никита Сергеевич Кравцов^{1✉}, **Иван Александрович Сурков**², канд. техн. наук,
Тамара Сергеевна Семяшкина³

^{1, 2, 3} ООО "Надежность ТМ", Москва, Россия, kravtsov@nadezhnost.com ✉

Аннотация. Рассмотрен случай образования трещины в зоне радиусного скругления станины рабочей клетки "кварто" стана 2800 после увеличения силы прокатки с 30 до 40 МН. Выполнен анализ химического состава, а также проведены испытания по определению механических характеристик материала станины. Для определения равномерности нагружения станинных стоек клетки проведены натурные исследования напряженно-деформированного состояния станин клетки методом электротензометрии. На основании результатов расчета напряженно-деформированного состояния конструкции методом конечных элементов разработаны технические решения по модернизации геометрии радиусного перехода, способствующие снижению концентрации напряжений и повышению эксплуатационной надежности оборудования. Описана методика проведения работ по ремонту трещины с применением сварочных материалов, позволяющих выполнять сварку без предварительного подогрева и последующей термической обработки.

Ключевые слова: прокатный стан, рабочая клеть, усталостное разрушение, конечно-элементный анализ, напряженно-деформированное состояние, долговечность, сопротивление усталости

Для цитирования: Кравцов Н.С., Сурков И.А., Семяшкина Т.С. Обеспечение безотказной эксплуатации станин чистовой четырехвалковой клетки реверсивного стана 2800 горячей прокатки полос при расширении сортамента продукции и увеличении силы прокатки // Заготовительные производства в машиностроении. 2026. Т. 24, № 9. С. 415–421. DOI: 10.36652/1684-1107-2026-24-9-415-421.

Original article

Ensuring reliable operation of finishing four-high stand housing of 2800 rolling mill during product range expansion and increased rolling force

Nikita S. Kravtsov^{1✉}, **Ivan A. Surkov**², **Tamara S. Semyashkina**³

^{1, 2, 3} "Nadezhnost TM" LLC, Moscow, Russia, kravtsov@nadezhnost.com ✉

Abstract. A case of crack initiation in the fillet radius area of the roll housing of the 2800 rolling mill as a result of the increase the rolling force from 30 to 40 MN is considered. An analysis of the chemical composition is carried out, and tests are conducted to determine the mechanical properties of the stand housing material. To assess the load distribution uniformity among the stand columns, in-situ studies of the stress-strain state of the stand housings are performed using electrical strain-gauge measurements. Based on the results of finite element analysis of the structure's stress-strain state, engineering solutions are developed to optimize the geometry of the fillet transition, thereby reducing stress concentration and improving the operational reliability of the equipment. A procedure for crack repair is described that employs welding consumables enabling welding without preheating and subsequent post-weld heat treatment.

Keywords: rolling mill, work stand, fatigue failure, finite element analysis, stress-strain state, durability, fatigue strength

Введение. Современные условия работы металлургических предприятий характеризуются высокой конкуренцией на рынке металлопродукции и постоянным ростом требований потребителей к сортаменту и качеству проката. В связи с этим производители стремятся расширять номенклатуру выпускаемой продукции, осваивать новые марки стали и увеличивать диапазон типоразмеров проката без существенных капитальных затрат на строительство новых производственных мощностей.

Одним из наиболее распространенных способов решения данной задачи является модернизация имеющегося прокатного оборудования и улучшение технологических режимов его работы. Помимо освоения новых материалов и технологий производства большое внимание уделяется созданию методик прогнозирования возникновения негативных событий, основанных на анализе параметров процесса прокатки, внедрение которых позволяет существенно снизить незапланированные простои оборудования [1].

Расширение сортамента продукции зачастую связано с необходимостью прокатки заготовок из более прочных материалов, увеличенных сечений или применения биметаллических материалов [2], что приводит к росту технологических нагрузок на основные узлы рабочих клетей прокатного стана. В ряде случаев достижение требуемых параметров процесса обеспечивается повышением силы прокатки относительно проектных значений. Однако эксплуатация оборудования в условиях нагрузок, превышающих допустимые, может привести к изменению напряженно-деформированного состояния конструкции и существенному росту значений напряжений, действующих в зонах локальной концентрации [3, 4].

Практика эксплуатации металлургического оборудования показала, что увеличение нагрузок без предварительной оценки прочности и ресурса базовых деталей может служить причиной появления усталостных трещин и внезапных отказов [5, 6]. Особую опасность представляют зоны геометрических переходов и радиусных скруглений, в которых вследствие концентрации напряжений наиболее вероятно зарождение дефектов. Развитие подобных повреждений способно привести к внеплановым остановкам оборудования, значительным затратам на ремонт и снижению эффективности производства.

В связи с этим актуальны исследование напряженно-деформированного состояния элементов прокатных станов при изменении технологических режимов работы, а также разработка технических решений, направленных на снижение уровня действующих напряжений и повышение надежности оборудования.

Методика проведения исследований. Чистовая рабочая клеть "кварто", входящая в состав толстолистового стана 2800 горячей прокатки, спроектирована и изготовлена Уральским заводом тяжелого машиностроения (УЗТМ, ныне ПАО "Уралмашзавод", Екатеринбург) и введена в эксплуатацию в 1959 г.

Максимально допустимая расчетная сила на клеть, заявленная заводом-изготовителем, составляет 20 МН. В 2002 г. при модернизации основных узлов сила прокатки была увеличена до 30 МН, а в 2020 г. после установки гидронажимного устройства максимальная сила прокатки составляла 40 МН.

Значительное увеличение нагрузки, воспринимаемой станинами клетки, закономерно привело к росту значений напряжений, действующих в зоне локальной концентрации — радиусном скруглении проточки под установку гайки нажимного устройства (рис. 1). По предварительным расчетам для обеспечения неограниченной долговечности станин достаточно

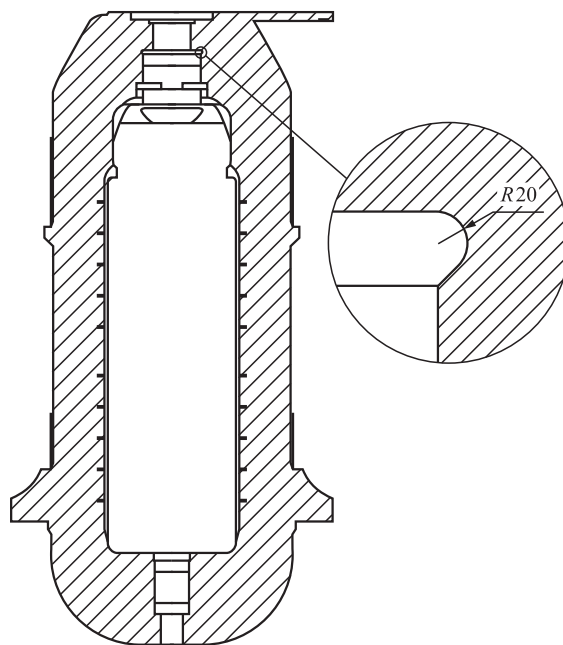


Рис. 1. Зона проточки с радиусом скругления 20 мм под установку гайки нажимного устройства

увеличить радиус скругления с 3 до 20 мм, что и было сделано при модернизации клетки.

После 5 лет эксплуатации в радиусном скруглении левой станины обнаружена трещина длиной 800 мм, максимальная глубина трещины по результатам неразрушающего контроля составила 130 мм. Аварийный ремонт дефекта выполнен собственными силами цеха за короткий срок без разработки специальной методики восстановления и выборкой дефекта не на всю глубину залегания, что привело к повторному образованию и дальнейшему росту трещины (рис. 2).

Для определения причин образования трещины в станине клетки, разработки методики ее ремонта и обеспечения дальнейшей длительной безотказной работы оборудования проведены:

- анализ химического состава и испытания механических свойств образцов, отобранных из материала станин;
 - расчет конструкции станины на сопротивление усталости с применением метода конечных элементов при силе прокатки 30 и 40 МН;
 - натурные измерения напряженно-деформированного состояния стоек станин клетки методом электротензометрии в процессе прокатки,
- а также разработаны:
- методика ремонта трещины;
 - технические решения по доработке зоны высокой концентрации напряжений для обеспечения безотказной работы в условиях экс-

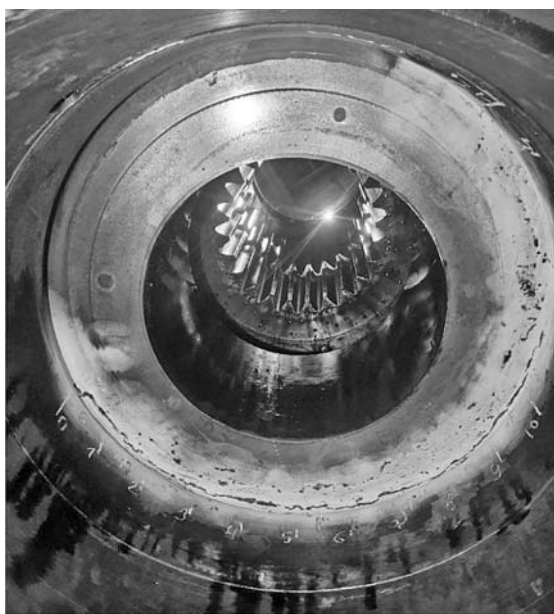


Рис. 2. Трещина в зоне скругления после ремонта сваркой

плуатации станин при увеличенной силе прокатки 40 МН.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для подтверждения соответствия материала станин марке стали, указанной в технической документации, проведены химический анализ, металлографическое исследование микроструктуры, а также механические испытания металла левой и правой станин рабочей клетки.

Результаты исследований показали, что химический состав и микроструктура металла соответствуют требованиям проектной документации. Признаков деградации микроструктуры, обусловленной термическим воздействием в процессе эксплуатации, не выявлено. Для образца, отобранного из левой станины, установлено пониженное значение ударной вязкости KCU , а также повышенная средняя твердость по Бринеллю относительно значений согласно ГОСТ 977–88.

Указанные изменения механических свойств могут свидетельствовать о развитии процессов охрупчивания металла. Снижение пластичности материала, обусловленное охрупчиванием, могло стать одним из факторов, способствующих зарождению трещины в зоне радиусного скругления.

Для получения теоретического поля распределения напряжений по станине в процессе нагружения клетки силой прокатки 30 и 40 МН выполнен расчет напряженно-деформированного состояния станины методом конечных элементов (КЭ). Расчетная схема и конечно-элементная модель станины приведены на рис. 3. Для оптимизации времени решения задачи и упрощения расчетной схемы моделирование проведено для одной станины.

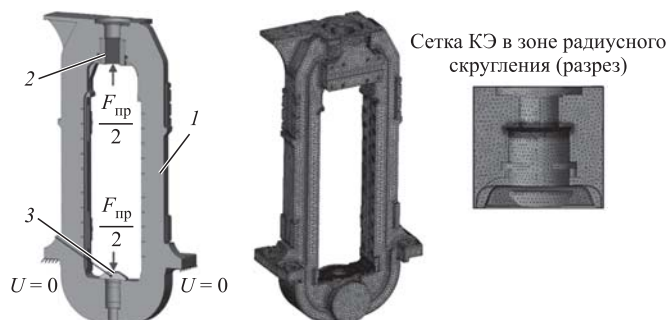


Рис. 3. Расчетная схема и конечно-элементная модель для определения напряженно-деформированного состояния станины рабочей клетки "кварто":

1 — станина рабочей клетки; 2 — гайка нажимного устройства; 3 — подкладная плита опорного вала; $F_{пр}$ — сила прокатки; U — перемещение

Сила, приложенная к модели станины через внутреннюю поверхность гайки нажимного устройства и плоскость подкладной плиты, контактирующей с нижним опорным валком, равна половине действующей на клеть нагрузки. Поля распределения первых главных напряжений, величина которых играет основную роль в зарождении и развитии усталостных трещин, для случаев нагружения станины силой 30 и 40 МН представлены на рис. 4 (см. обложку).

Коэффициент запаса прочности станины по усталостному критерию рассчитывают по формуле:

$$n_T = \frac{\sigma_0}{\sigma_1^{\max}}, \quad (1)$$

где σ_0 — предел усталости материала при пульсирующем цикле нагружения; $\sigma_1^{\max}$ — максимальные растягивающие напряжения, действующие в корпусе детали.

Для точного определения коэффициентов запаса прочности крупногабаритных деталей специалистами УЗТМ были исследованы усталостные свойства сталей, наиболее часто используемых при изготовлении базовых деталей кузнечно-прессового и прокатного оборудования [7]. При этом усталостные испытания проведены на образцах, вырезанных из крупногабаритных слитков, термическая обработка которых соответствовала принятой на УЗТМ. Станина клетки отлита из стали 35Л, предел усталости при пульсирующем цикле для которой равен $\sigma_0 = 190$ МПа.

Таким образом, значения коэффициентов запаса при нагружении станины силой 30 и 40 МН соответственно равны:

$$n_{30} = \frac{190}{182} = 1,04;$$

$$n_{40} = \frac{190}{241} = 0,79.$$

Минимально допустимое значение коэффициента запаса прочности по усталостному критерию составляет $[n] = 1,2$. Полученные расчетом значения коэффициента запаса меньше минимально допустимого значения, из этого следует, что станина клетки обладает недостаточным сопротивлением усталости для эксплуатации в условиях увеличенной силы прокатки.

При отсутствии экспериментальных данных предел выносливости при симметричном цикле допускается определять по соотношению (ГОСТ 25.504–82):

$$\sigma_{-1} = (0,55 - 0,0001\sigma_B)\sigma_B, \quad (2)$$

где σ_B — предел прочности материала, а предел выносливости при пульсирующем цикле — по формуле:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{-1}}{1 + \psi_\sigma}, \quad (3)$$

где ψ_σ — коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла.

Однако расчет предела выносливости по приведенным выше формулам для такой крупногабаритной детали, как станина прокатного стана, может привести к завышению результатов, поскольку данные зависимости не учитывают влияние масштабного и технологического факторов, что может стать причиной некорректной оценки долговечности конструкции. Можно предположить, что отсутствие необходимых экспериментальных данных при расчетном обосновании модернизации конструкции привело к выбору недостаточного радиуса скругления и, как следствие, к образованию и дальнейшему росту трещины в рассматриваемой зоне.

Для исследования характера распределения нагрузки по станинам клетки в условиях реальной работы выполнены замеры напряженно-деформированного состояния стоек станин в процессе прокатки. Измерения проводили при реверсивной прокатке толстых листов и подката, предназначенного для дальнейшего передела. Максимальное значение силы прокатки не превышало 17 МН. На каждую стойку устанавливали по четыре тензодатчика с внутренней и внешней сторон (рис. 5).

По значениям напряжений, измеренным в местах установки датчиков, вычисляли среднее напряжение в сечении стойки и далее — силу, воспринимаемую стойкой. Графики изменения напряжений в местах установки датчиков приведены на рис. 6 (см. обложку).

Результаты расчета распределения сил прокатки по стойкам станин представлены в таблице.

По результатам проведенных замеров можно сделать вывод, что в процессе прокатки прослеживается закономерность неравномерного нагружения стоек левой станины на протяжении всего времени нагружения. Второй стойкой

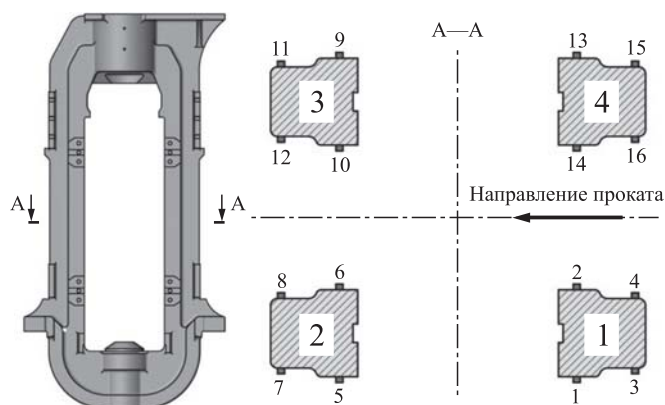


Рис. 5. Схема установки и нумерации тензодатчиков

воспринимается наибольшая сила из всех четырех, в то время как первая стойка воспринимает самую малую силу.

Однако, несмотря на неравномерность распределения силы по стойкам станин, неравномерность распределения сил по самим станинам составляет $\pm 3\%$.

Неравномерность нагружения стоек станины приводит к перекосу валков или изменению межвалкового зазора, что ведет к получению продукции с неправильным профилем сечения, разнотолщинности и браку.

Отметим локальные пики на графиках в момент захода и выхода проката из клетки. Пиковые значения напряжений превышают напряжения в устоявшемся режиме прокатки на 15 %, при этом длительность действия максимальной нагрузки не превышает 0,05 с.

Проведенный комплексный анализ технического состояния узлов рабочей клетки прокат-

ного стана 2800 позволил установить причину образования трещины в левой станине.

Результаты исследования показали, что эксплуатация станины с имеющимся дефектом отрицательно влияет на равномерность распределения нагрузок между станинными стойками, что приводит к снижению качества получаемой продукции. Факт повторного разрушения станины в зоне проведения ремонта указывает на то, что выполнение восстановительных работ ответственных конструкций сваркой требует разработки специализированной методики.

Таким образом, для обеспечения длительной безотказной работы станины необходимо выполнить ремонт трещины в зоне радиусного скругления с соблюдением требований, предъявляемых к восстановлению дефектов в ответственных деталях, а также разработать технические решения, направленные на снижение уровня напряжений, действующих в зоне концентратора, что позволит повысить долговечность конструкции и снизить риск повторного образования дефектов.

Для выбора оптимального радиуса скругления, внедрение которого позволит снизить уровень действующих напряжений, проведены расчеты напряженно-деформированного состояния станины и определены значения максимальных напряжений. Методы повышения прочности станин рабочих клеток прокатных станов рассмотрены в работе [9].

Для обеспечения безотказной работы станины в условиях нагружения рабочей клетки силой прокатки 40 МН максимальные напряжения,

Распределение сил прокатки по стойкам станин при устоявшемся режиме прокатки

Номер стойки, станина	Сила прокатки, МН	Сила прокатки, МН		Отклонение силы прокатки от среднего значения, %
		средняя	максимальная	
Стойка				
1	2,84	3,11	—	−8,6
2	3,50			+12,5
3	3,05			−1,9
4	3,04			−2,0
Станина				
Сторона перевалки	6,34	6,22	12,43	+1,9
Сторона привода	6,09			−1,9

действующие в корпусе станин, не должны превышать предельного значения:

$$\sigma_{\text{lim}} = \frac{\sigma_0}{[n]} = \frac{190}{1,2} = 158 \text{ МПа.} \quad (4)$$

Предложенные варианты изменения радиуса скругления и соответствующие им результаты расчета напряженного состояния представлены на рис. 7 (см. обложку).

Из результатов конечно-элементного расчета видно, что минимально допустимое значение радиуса скругления для обеспечения условия отсутствия риска возникновения усталостных трещин в данной зоне составляет 50 мм.

Учитывая, что уровень напряжений в зоне радиуса скругления 50 мм незначительно ниже предельного напряжения (4), а погрешность определения пиковых напряжений при отсутствии исследования сеточной сходимости и анализа ошибки дискретизации может достигать $\pm 20\%$ [10], также учитывая возможные кратковременные пики силы, превышающие значение номинальной силы прокатки, в качестве окончательного конструктивного решения выбран радиус скругления 60 мм. В этом случае уровень максимальных напряжений по результатам расчета составляет 138 МПа, а коэффициент запаса прочности $[n] = 1,38$, что позволит обеспечить длительную безотказную эксплуатацию оборудования, в том числе в условиях возникновения нагрузок, превышающих значение номинальной силы прокатки 40 МН.

Дальнейшее увеличение радиуса скругления не дает существенного снижения уровня максимальных напряжений (рис. 8).

После выбора оптимального радиуса скругления разработана методика ремонта трещины, которая включала в себя следующие этапы: разделка трещины на всю глубину залегания методом воздушно-дуговой строжки, зачистка зоны разделки ручным механизированным инструментом, заполнение зоны разделки сварочными материалами, позволяющими проводить сварку без предварительного подогрева станины, с послойной проковкой швов для снятия остаточных сварочных напряжений и деформаций, шлифование ремонтной зоны мобильным обрабатывающим комплексом до получения требуемого радиуса 60 мм.

После завершения ремонтно-восстановительных работ и мероприятий по модернизации

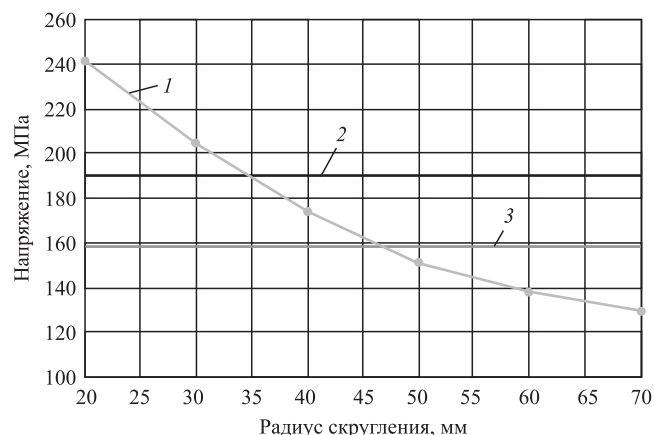


Рис. 8. Зависимость максимальных напряжений от радиуса скругления (1) и напряжения, соответствующие коэффициенту запаса прочности по усталостному критерию $n = 1,0$ (2) и $n = 1,2$ (3)

конструкции станины рабочая клеть "Кварто-2" введена в эксплуатацию с максимальной силой прокатки до 40 МН. При проведении осмотра зоны радиусного скругления через три месяца эксплуатации клетки дефектов и признаков разрушения данной зоны не выявлено.

Закключение. Комплексный подход к анализу условий эксплуатации и механических свойств станины рабочей клетки стана 2800 позволил определить причины образования трещины в ее радиусном скруглении и разработать технические решения по восстановлению эксплуатационных характеристик клетки и недопущению дальнейших разрушений.

На основании результатов металлографических исследований, механических испытаний и конечно-элементного моделирования установлено, что зарождение трещины обусловлено увеличением уровня действующих напряжений в зоне концентратора и снижением пластических свойств материала вследствие его охрупчивания в процессе длительной эксплуатации.

С учетом результатов конечно-элементного расчета и возможной погрешности определения локальных максимальных напряжений выбрано оптимальное конструктивное решение по увеличению скругления до 60 мм, которое позволило снизить уровень действующих напряжений более чем на 40 % и, как следствие, обеспечить длительную безотказную работу оборудования при нагружении его узлов увеличенной силой прокатки.

Разработанная методика ремонтно-восстановительных работ, включающая в себя разделку

трещины на всю глубину залегания с последующей заваркой и механическую обработку зоны ремонта до требуемой геометрии, позволила восстановить проектные режимы работы оборудования в условиях увеличения силы прокатки.

Результаты последующей эксплуатации рабочей клетки под нагрузкой до 40 МН подтвердили эффективность принятых технических решений: в течение трех месяцев работы признаков повторного трещинообразования и развития дефектов в ремонтной зоне не выявлено.

Представленные технические решения могут быть использованы при разработке мероприятий по повышению долговечности и надежности крупногабаритных литых деталей металлургического оборудования, работающих в условиях циклического нагружения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Belskiy S.M., Shopin I.I., Safronov A.A.** Improving Efficiency of Rolling Production by Predicting Negative Technological Events // Defect and Diffusion Forum. 2021. Vol. 410. P. 96–101. DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.96. EDN: IABGKR.
2. **Исследование** и разработка рациональных режимов горячей прокатки биметаллических листов X65 + 316L на стане 2800 АО "Уральская Сталь" / А.Г. Кищенко, Р.Л. Шаталов, Д.В. Нижельский, И.А. Десятов, М.В. Горюнов // Черные металлы. 2025. № 2. С. 30–36. DOI: 10.17580/chm.2025.02.04. EDN: GZNNEM.
3. **Domazet Ž., Lukša F., Šušnjar M.** Failure analysis of rolling mill stand coupling // Engineering failure analysis. 2014. Т. 46. P. 208–218. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.09.002.
4. **Корнилова А.В., Чжо З.** Устранение причин трещинообразования в ползуне мощного кривошипного штамповочного прессы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23, № 1. С. 47–56. DOI: 10.22363/2312-8143-2022-23-1-47-56. EDN: AZNISJ.
5. **Trebuňa F. [et al.].** Analysis of crack initiation in the press frame and innovation of the frame to ensure its further operation // Engineering Failure Analysis. 2011. Vol. 18, no. 1. P. 244–255. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2010.09.004.
6. **Зуев Е.А., Воробьев А.К., Волков А.Ю.** Экспертиза состояния и обеспечение прочностной надежности станин прокатных станов // Наука, образование и культура. 2018. № 10 (34). С. 19–24. EDN: YSGEDR.
7. **Гохберг М.М., Пылайкин П.А., Юшкевич В.Н.** Усталостная прочность сталей для прессов. Производство крупных машин. 1971. Вып. XXI: Гидравлические прессы. С. 10–34.
8. **Совершенствование** геометрических параметров станин закрытого типа рабочих клеток прокатных станов: специальность 05.02.09 "Технологии и машины обработки давлением": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семичев Юрий Станиславович, 2019. 115 с. EDN: KHTCHE.
9. **Patil H., Jeyakarthikeyan P.V.** Mesh convergence study and estimation of discretization error of hub in clutch disc with integration of ANSYS. In Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 402. DOI: 10.1088/1757-899X/402/1/012065.

Статья поступила в редакцию 05.06.2026; одобрена после рецензирования 06.07.2026; принята к публикации 06.07.2026.



ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ"

- За наличный и безналичный расчет
- С любого номера и на любой срок
- Без почтовых наценок

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2,
тел.: (495) 785-6069,
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru