

ISSN 0038-920X

СТАЛЬ

ЦЗЛ

АО «АрселорМиттал Темиртау»

50 лет

ArcelorMittal

ArcelorMittal

Arcel

8/2012

Москва · ООО "Интермет Инжиниринг"



ArcelorMittal

Реклама

УДК 65.012.16:621.771.06-21

Экспертиза состояния и обеспечение прочностной надежности станин прокатных станов

Рассмотрена одна из основных причин разрушения станин прокатных станов. Показан комплекс работ по обеспечению прочностной надежности станин действующих прокатных станов, который включает два этапа — экспертизу состояния на данный момент эксплуатации и модернизацию.

Ключевые слова: станина прокатного стана, неограниченная долговечность, временное сопротивление, внезапное разрушение, экспертиза, модернизация.

На металлургических предприятиях России большинство прокатных станов находится в эксплуатации 30–40 лет и более. Возрастание технико-экономических требований к действующему оборудованию в связи с необходимостью повышения производительности и перехода на новый сортамент предопределяет увеличение нагрузок, воспринимаемых несущими деталями клетей прокатных станов. Кроме того, по мере эксплуатации число проходов с номинальными и пиковыми нагрузками достигает предельных значений, ограниченных усталостной прочностью материала силовых деталей прокатного стана. Поэтому для обеспечения длительной надежной работы действующих прокатных станов необходимо сохранить работоспособность основных силовых деталей стана по критерию прочности.

Наиболее металлоемкой и трудоемкой по условиям изготовления, транспортировки и монтажа деталью прокатного стана является станина. Так, в чистом виде станина двухклетевого непрерывного стана 2800 имеет массу 115 т, станина четырехклетевого стана 5000 — 330 т. В то же время практика показывает, что длительные простоя линий производства проката, значительные расходы на ремонт и запасные части связаны именно с разрушением станины клети прокатного стана [1]. Во многих случаях тяжесть последствий аварийной ситуации усугубляется внезапностью произошедшего разрушения. «Внезапность» объясняется тем, что конструктивные концентриаторы, где возникают максимальные напряжения, превышающие временное сопротивление материала по усталости, расположены в недоступных для прямого наблюдения местах. В этом случае длительные процессы возникновения и роста усталостной трещины остаются незамеченными и проявляются в виде «внезапного» разрушения после достижения трещиной критического размера.

В станине прокатного стана максимальные напряжения возникают в верхней поперечине на поверхности радиусной галтели в месте перехода контактной площадки в вертикальную круговую поверхность от-

верстия под гайку нажимного винта [1]. На рис. 1 схематично показана верхняя поперечина станины прокатного стана с отверстием диам. d для размещения нажимного винта и отверстием диам. D для размещения гайки нажимного винта. Максимальные напряжения возникают на поверхности радиусной галтели R , которая недоступна для прямого наблюдения. В работе [1] показано, что при $R/d < 0,1$ максимальные напряжения σ_{\max} превышают временное сопротивление материала по усталости σ_0 , что дает запас прочности по усталости $n = \sigma_0/\sigma_{\max} < 1$ и делает закономерным возникновение и рост усталостных трещин. В работе [2] для станины блюминга 1100 КМК представлена зависимость максимальных напряжений, возникающих на поверхности радиусной галтели от величины её радиуса, подтверждающая возможность возникновения трещины в радиусной галтели при определенных режимах эксплуатации.

Предупреждение «внезапных» разрушений станин и связанных с этими разрушениями аварийных ситуаций осуществляется на основе своевременной экспертизы фактического состояния прокатных станов. По результатам экспертизы, в случае необходимости, разрабатываются и внедряются технические решения,

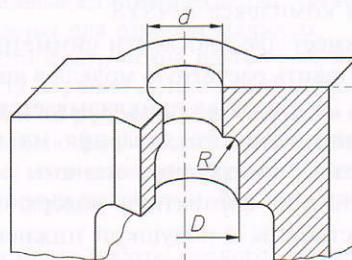


Рис. 1. Верхняя поперечина станины прокатного стана: d — вертикальное отверстие для размещения нажимного винта; D — вертикальное отверстие для размещения гайки нажимного винта; R — радиусная галтель от торцевой опорной поверхности вертикального отверстия под гайку нажимного винта к вертикальной цилиндрической поверхности

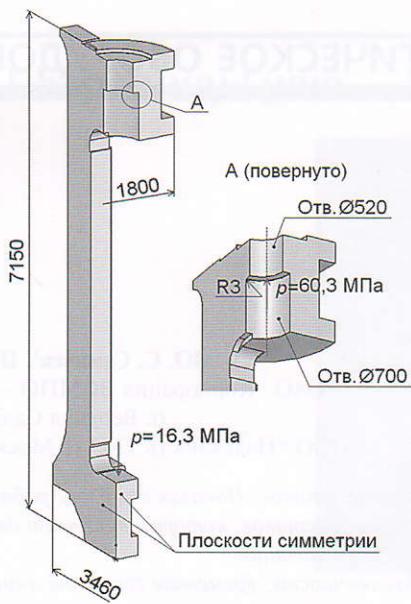


Рис. 2. Расчетная модель станины стана 1700

обеспечивающие неограниченную долговечность станины. Комплекс работ по обеспечению прочностной надежности действующих станин можно представить на примере стана 1700. Рабочая клеть № 2 в составе оборудования стана 1700, спроектированная и изготовленная ЗАО НКМЗ (Украина), рассчитана на максимальную силу прокатки 20 МН. В рамках интенсификации производства необходимо увеличить максимальную силу прокатки до 30 МН.

Первый этап экспертизы состояния станин включает оценку их прочности и установление зон возможного возникновения трещин. Для этого проводится расчет напряженного состояния станин с учетом реальных геометрии и условий нагружения. Станины клетей прокатных станов имеют сложную геометрическую форму и работают в силовом контакте с сопряженными деталями, поэтому метод расчета должен позволять находить как геометрические и силовые граничные условия в зонах контакта отдельных деталей, так и величины максимальных напряжений в зонах конструктивных концентраторов. Для решения этих задач при исследовании напряженно-деформированного состояния станин клети стана 1700 выбран метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в программном комплексе ANSYS.

Станина имеет две плоскости симметрии, что позволяет представить расчетную модель в виде 1/4 части станины (рис. 2). Нагрузка прикладывается в виде равномерно распределенного давления на поверхность контакта верхней поперечины станины с гайкой нажимного винта и на контактную поверхность нижней поперечины станины с подушкой нижнего опорного вала. Граничные условия на перемещения накладываются по плоскостям симметрии. Станина клети выполнена из литой стали 25Л, поэтому для расчета были приняты модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа и коэффициент Пуассона $\mu = 0,27$. Сила, приложенная к модели, соответствует номинальной нагрузке на клеть,

составляющей 20 МН, что дает распределенную нагрузку в зоне контакта с нажимной гайкой 60,3 МПа и в зоне контакта с подушкой опорного вала 16,3 МПа.

Результаты расчета показали, что в станинах стана 1700 наибольшие напряжения $\sigma_{\max} = \sigma_1 = 370$ МПа возникают на поверхности галтели радиусом 3 мм в зоне контакта верхней поперечины станины с гайкой нажимного винта (рис. 2). Напряжения в остальных конструктивных концентраторах станин не превышают 100 МПа.

Станины клетей работают в условиях отнулевого цикла нагружения. В справочной литературе нет данных об усталостных испытаниях образцов стали 25Л, вырезанных из крупногабаритных отливок. Результаты таких испытаний для стали 35Л представлены в [3]. Материалы станины (25Л) и отливки (35Л) близки по химическому составу, механическим свойствам и технологии изготовления, поэтому для оценки прочности станины стана 1700 использовали результаты для стали 35Л: предел выносливости при симметричном цикле $\sigma_{-1} = 96$ МПа, при отнулевом цикле $\sigma_0 = 190$ МПа. По расчетным значениям максимальных напряжений и результатам усталостных испытаний получаем для станины стана 1700 запас прочности по усталости $n = \sigma_0 / \sigma_{\max} = 190 / 370 = 0,51 < 1$. При запасе прочности по усталости $n < 1$ возникновение и развитие трещин усталости, приводящее к “внезапному” разрушению станин, являются закономерными.

Второй этап экспертизы состояния станин включает исследование натурных станин методами неразрушающего контроля. Состояние станин стана 1700 в зоне радиусной галтели $R3$ (рис. 2), где по расчету максимальные напряжения превышают временное сопротивление материала по усталости, было проверено методом вихревокового контроля. Результаты контроля показали, что в правой станине клети в радиусной галтели $R3$ возникла трещина, имеющая протяженность в окружном направлении 265 мм и глубину 35 мм. Дальнейшая эксплуатация станины с трещиной неизбежно приведет к разрушению станины и длительной остановке стана.

Точная оценка времени эксплуатации до полного разрушения станины невозможна вследствие статистического разброса усталостных характеристик материала и отсутствия закономерностей, связывающих рост трещины с напряженным состоянием в ее вершине. Поэтому для обеспечения дальнейшей безотказной работы станин необходимо осуществить их модернизацию с обеспечением неограниченной долговечности гальтельных переходов как при проектной, так и при увеличенной в 1,5 раза нагрузке на станины.

Модернизация станины заключается в изменении геометрии радиусной галтели с заглублением ее в вертикальную стенку отверстия диам. 700 мм для установки гайки нажимного винта (рис. 3). Спрофилированная галтель позволяет снизить напряжения в концентраторе в 3,36 раза с 370 до 110 МПа (рис. 4), что дает запас прочности по усталости $n = \sigma_0 / \sigma_{\max} = 190 / 110 = 1,73$. При увеличении силы прокатки до 30 МН запас проч-

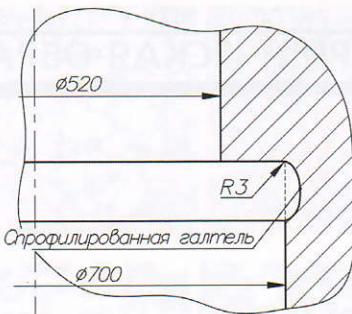


Рис. 3. Конструкция галтельного перехода с заглублением в вертикальную стенку отверстия для установки гайки нажимного винта

ности по усталости будет равен $n = 1,15 > 1$, что обеспечивает неограниченную долговечность станины.

Выполнение галтели с поднутрением стенки отверстия под гайку нажимного винта осуществляется на месте мобильным расточным станком. После выполнения галтели с поднутрением проводится повторная дефектоскопия поверхности галтели. Обнаруженные трещины завариваются по специальной технологии без предварительного подогрева и последующей термообработки материала станины.

Максимальный экономический эффект достигается своевременным (до момента возникновения трещин) проведением экспертизы состояния станины и внедрением конструктивно-технологических решений, устраняющих причину ее разрушения.

Выводы

1. Значительное число внезапных разрушений станин, вызывающих длительные простои линий производства проката, расходы на ремонт и запасные части, связаны с возникновением и развитием трещин усталости в радиусной галтели зоны контакта верхней поперечины станины с гайкой нажимного винта.

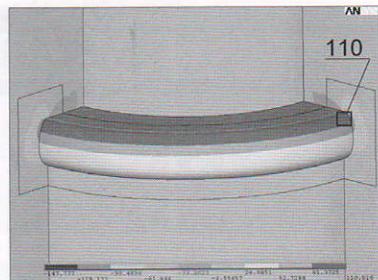


Рис. 4. Напряженное состояние (σ_1 , МПа) галтельного перехода с заглублением в вертикальную стенку отверстия для установки гайки нажимного винта

2. Устранение причины возникновения трещин и обеспечение долговечности станин без ограничения времени эксплуатации достигаются изменением геометрии радиусной галтели с заглублением ее в вертикальную стенку отверстия для установки гайки нажимного винта.

3. Изменение геометрии радиусной галтели не требует изменения конструкции и первоначальной компоновки деталей нажимного устройства, осуществляется на месте с применением мобильного расточного оборудования.

Библиографический список

1. Морозов Б. А. Моделирование и прочность металлургических машин. — М. : Машгиз, 1963. — 284 с.
2. Морозов Б. А., Коновалов Л. В., Сурков А. И. и др. Комплексное изучение условий нагружения и напряженного состояния станины блюминга 1100 КМК : Труды I конференции по расчетам на прочность металлургических машин. — М. : ВНИИметмаш, 1969. Сб. № 24. Т. 2. С. 3 — 16.
3. Гохберг П. М., Пылайкин П. А., Юшкевич В. И. Усталостная прочность сталей для прессов // В сб. Производство крупных машин. — М. : Машиностроение, 1971. С. 10 — 34.

Правила оформления статей

Журнал “Сталь” публикует статьи о новых технологиях и оборудовании, а также о совершенствовании уже применяемых в черной металлургии, о передовом опыте улучшения качества и повышения конкурентоспособности продукции, путях достижения рентабельности производства, уменьшении вредного воздействия на окружающую среду и о других важных для отрасли вопросах.

В статье следует сообщить цель проведения работы, привести фактические данные, их анализ и дать заключение (выводы). Текст статьи объемом не более 12 страниц должен быть дополнен **кратким рефератом** (3 – 5 предложений) и **ключевыми словами на русском и английском языках**, указанием УДК, а также списком подписей к рисункам. Библиографический список следует оформлять в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; на труднодоступные источники просьба не ссылаться. Рисунки должны быть четкими, упрощенными и не загроможденными надписями, без масштабной сетки (за исключением номограмм).

К статье должен быть приложен список авторов с указанием места работы каждого, служебных адреса и телефона.

Число авторов от 1 – 2 организаций не должно превышать 5 человек. Если статья представлена от большего числа организаций, то допускается в среднем по два человека от каждой организации.

Все материалы статьи редакция просит представлять по возможности в электронном виде (текст — в программе Word (Times New Roman, размер шрифта 12, межстрочный интервал 1,5)), рисунки — отдельным файлом в форматах TIFF или JPEG, диаграммы — в формате EXCEL).