

УДК 621.771.016

Беляев С. Ю., Багазеев Ю. М., Семичев Ю. С.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАЛКОВОЙ СИСТЕМЫ «КВАРТО» В УСЛОВИЯХ СВЕРХВЫСОКИХ НАГРУЗОК ПРИ ТЕПЛОЙ ПРОГЛАДКЕ ЛИСТОВ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Прогладочный стан 2000 фактически является финишным деформационным агрегатом технологической цепочки производства горячекатаного тонко- и среднелистового проката из титановых сплавов ОАО «ВСМПО-АВИСМА» [1]. В линии прогладочного стана 2000 выполняются разнообразные технологические операции, а именно отжиг и правка, нагрев и прогладка листов, холодная прокатка и прогладка листов, а также их калибровка по толщине. Деформация прокатываемого металла выполняется в рабочей клетке стана за счет реверсивной многопроходной прокатки. Низкая температура деформационной обработки (до 450...700 °С), в сочетании с высоким уровнем сопротивления деформации титановых сплавов, приводит к резкому росту технологических нагрузок – усилий и моментов прокатки и, соответственно, к снижению долговечности элементов рабочей клетки. В процессе эксплуатации отмечены случаи поломок элементов главной линии черновой клетки стана (опорных валков, шпинделей). Поломки опорных валков в последнее время носили систематический характер.

Целью работы, а также проводимого экспериментально-теоретического исследования являлось:

1. Определение реального уровня загруженности рабочей клетки прогладочного стана 2000 с учетом всего многообразия действия конструктивных и технологических факторов.
2. Определение предельных уровней технологических нагрузок и ресурса долговечности для опорных валков рабочей клетки прогладочного стана 2000.

Прогладочный стан 2000 был спроектирован и изготовлен Новокраматорским машиностроительным заводом (ЗАО «НКМЗ») в середине 60-х годов. Заводом изготовителем установлены следующие основные параметры валкового узла:

- диаметр рабочих валков (max / min) – 650 / 620 мм;
- диаметр опорных валков (max / min) – 1300/ 1220 мм;
- длина бочки валков – 2000 мм;
- допустимое усилие прокатки – 9,81 МН (1000 тс).

Для определения фактической загруженности деталей, узлов и механизмов главной линии рабочей клетки прогладочного стана 2000 с учетом всего многообразия факторов, оценки динамики протекающих процессов, изучения возможной несимметричности нагружения было проведено комплексное экспериментальное исследование. Оно включало измерение и регистрацию усилий и моментов прокатки, скоростных и нагрузочных характеристик электропривода для достаточно широкого спектра типоразмеров листов и видов технологических операций. Пример характерной осциллограммы усилий прокатки по показаниям мессдоз для одного из типовых маршрутов приведен на рис. 1.

Качественный анализ осциллограмм усилий прокатки и температуры металла позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Все процессы холодной и теплой прогладки и калибровки листов из титановых сплавов можно разделить на две основные группы: процессы, реализуемые без предварительного поджатия валков, и процессы деформации листов с предварительным поджатием. Характерной особенностью процесса прогладки тонких листов (менее 3,0 мм) является прокатка с предварительным поджатием валков, причем величина данной нагрузки может достигать 80 % от уровня разрешенного заводом – изготовителем стана ЗАО «НКМЗ».

| Дата | | 10 марта 2005 г. | |
|----------------------------|-------------|---------------------------------|---------|
| Время | 15:30 | Средняя толщина исходных листов | 2,35 мм |
| Партия | 4932 | Средняя толщина готовых листов | 2,20 мм |
| Плавка | 8-17-1953-2 | Число проходов | 5 |
| Операция | прокатка | Средняя ширина исходных листов | 1320 мм |
| Исх. файл | 1003-5 | Увеличенная ширина исх. листов | |
| Сплав | 3.7164.1 M5 | Наибольшая ширина исх. листов | 1750 мм |
| Температура установки печи | 750 град С | | |
| Нормативное время выдержки | 127 сек | | |

| Параметры прокатки по проходам | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|----|----|
| Параметр | Разм | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| толщина исходная | мм | 2,350 | 2,300 | 2,270 | 2,230 | 2,210 | | | | | | |
| толщина конечная | мм | 2,300 | 2,270 | 2,230 | 2,210 | 2,200 | | | | | | |
| средняя толщина | мм | 2,335 | 2,285 | 2,250 | 2,220 | 2,205 | | | | | | |
| абсолютное обжатие | мм | 0,050 | 0,030 | 0,040 | 0,020 | 0,010 | | | | | | |
| относительное обжатие | % | 0,013 | 0,010 | 0,017 | 0,009 | 0,004 | | | | | | |

| Средняя длина исходных листов | | 2950 мм | |
|-------------------------------|-------|---------|--|
| Диаметр валков | мм | 635 | |
| Скорость прокатки | м/сек | 1,96 | |

Специальные условия
Прокатка партии с задачей на нагрев по 2 заготовки. Запись с остановкой в ходе нагрева (такт отпаса 1,2 микросекунд)

Осциллограмма усилий прокатки

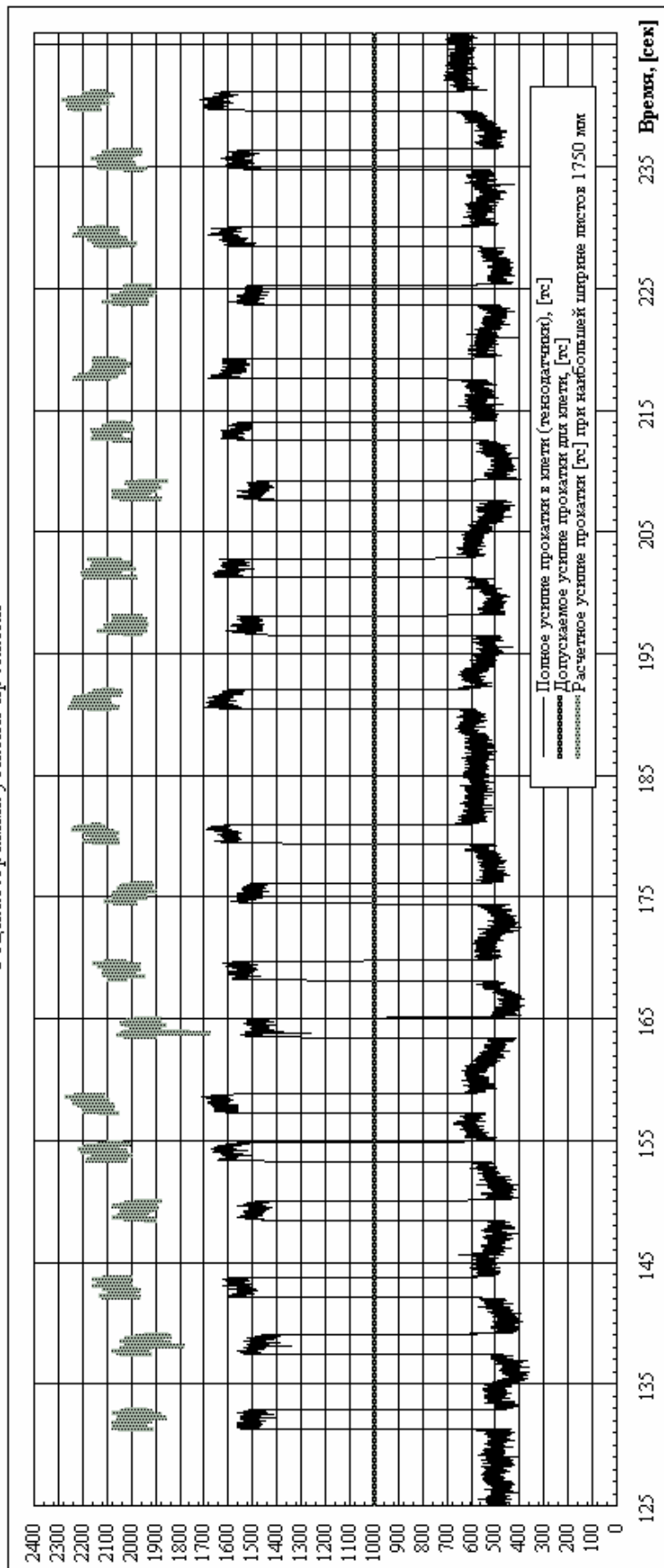


Рис. 1. Типовая осциллограмма усилий прокатки при тепловой прокатке листов из сплава ВТ-6 на прогладочном стане 2000

2. В целом процесс прокатки листов на прогладочном стане 2000 является крайне нестабильным процессом. Это проявляется в существенном изменении, как полного усилия прокатки, так и усилия предварительного поджатия валков, а также в различном числе проходов, необходимых для отделки листов одной партии. Причин такой нестабильности несколько – это и нестабильность температурного режима прокатки, индивидуальность геометрической толщины листов одной партии, влияние «почерка» оператора стана.

3. Основной причиной нестабильности технологического усилия прокатки следует считать нестабильность температурного режима прокатки.

4. Экспериментальные исследования не выявили существенных динамических нагрузок возникающих в рабочей клетке при захвате металла и выбросе его из валков. Отдельные пиковые нагрузки, превышающие номинал не более чем на 5...15 % и возникающие при захвате полосы, фиксировались только месдозами, но не тензометрическими датчиками, установленными на станине.

Такой характер нагружения и длительная работа валкового узла и всего стана с перегрузками требует оценки прочности и долговечности наиболее нагруженных узлов, к которым, в первую очередь, относятся опорные валки. Опорный валок рабочей клетки прогладочного стана 2000 выполняется кованным из стали 9ХФ с закалкой рабочей поверхности бочки. Для определения предельно допустимого уровня усилий прокатки, которые может выдержать опорный валок без разрушения, были выполнены расчеты на статическую и усталостную прочность данного валка по методикам, используемым ведущими фирмами в области металлургического машиностроения. Для реализации данной задачи был создан программный пакет, осуществляющий расчет и построение в удобной графической форме по длине валка эпюр поперечных сил, изгибающих моментов, напряжений на поверхности валка (в том числе с учетом концентраторов), коэффициентов запаса усталостной прочности, а также числа циклов нагружений валка до его разрушения. Расчеты выполнялись для шести уровней усилий прокатки, действующих на опорный валок от 4,9 МН (500 тс) до 29,4 МН (3000 тс) с шагом 4,9 МН (500 тс).

Анализ эпюры напряжений эквивалентных напряжений в валке при расчете на статическую прочность показывает, что наиболее нагруженной является зона перехода шейки валка в бочку. В этой части валка имеются два опасных сечения: переход конического участка шейки в бочку (1-е опасное сечение) и переход конического участка валка в цилиндрический участок шейки (2-е опасное сечение).

Выполненный расчет на усталостную прочность в форме определения коэффициента запаса усталостной прочности (рис. 2) показывает, что наиболее подверженными усталостному разрушению являются 1-е и 2-е опасные сечения, а также сечения ступенчатых переходов расположенных в месте установки подшипников на валок. В 1-ом и 2-ом опасных сечениях расчетный коэффициент запаса усталостной прочности даже при допустимом усилии прокатки 9,81 МН (1000 тс) оказывается меньше не только минимально допустимого значения 1,3, но и меньше 1,0. Это свидетельствует о том, что разрушение опорного валка происходит в зоне малоциклового усталости, следовательно, необходим расчет валка на ограниченную долговечность.

В ходе расчета на ограниченную долговечность, при базовом числе циклов нагружений без разрушения – 2,1 миллиона циклов, также были построены эпюры нагрузочной способности опорных валков по их длине (рис. 2). Анализ результатов показал, что наименьшее число циклов выдержат именно выявленные ранее опасные сечения 1 и 2. Это вполне соответствует имеющимся данным о разрушениях валков – у подавляющего числа валков происходит усталостное разрушение шейки в непосредственной близости от бочки (в зоне конического участка).

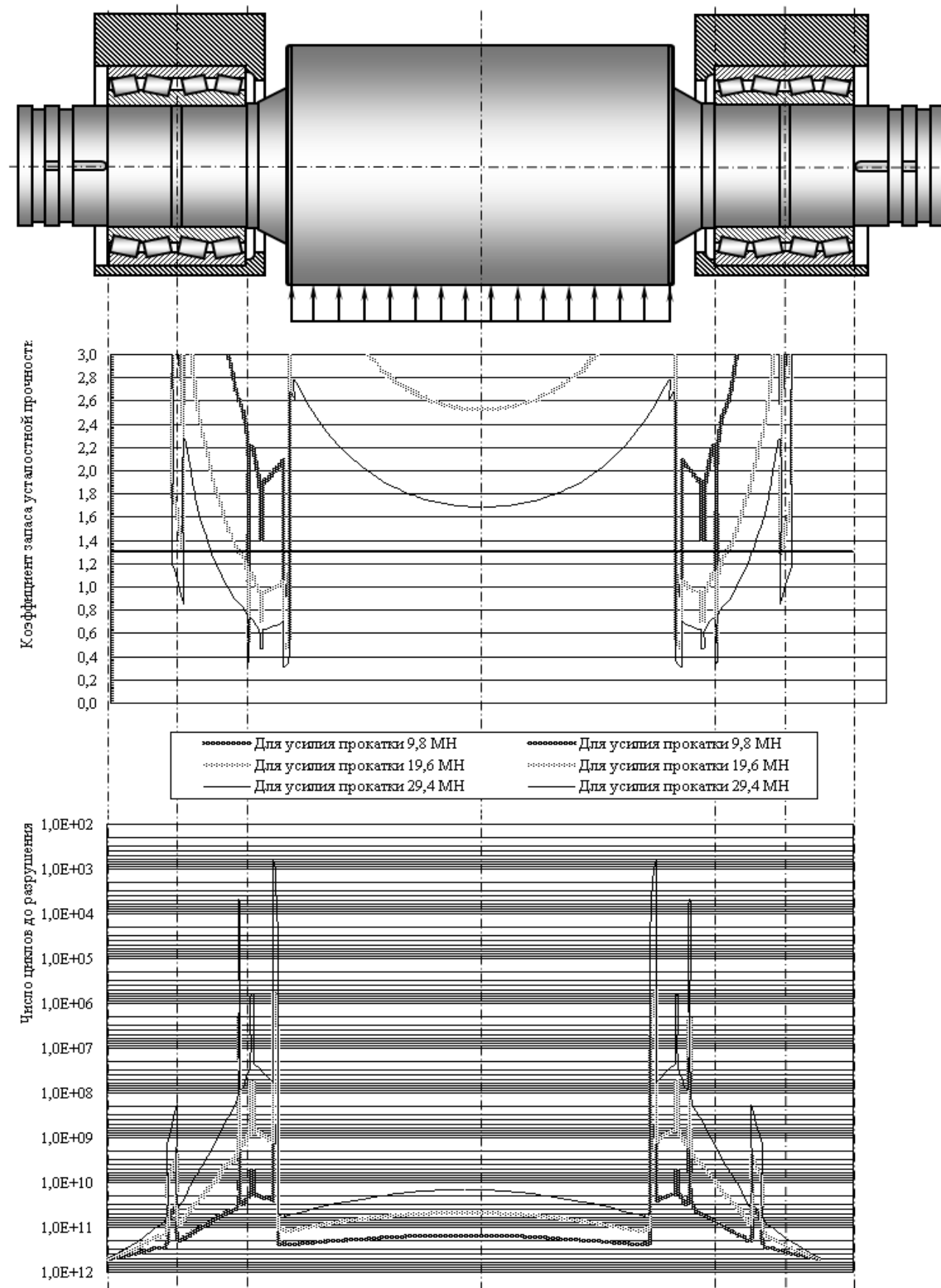


Рис. 2. Диаграммы распределения по длине вала коэффициента запаса усталостной прочности и предельного числа циклов до разрушения для различных уровней усилий

Так при усилии прокатки 29,4 МН (3000 тс) 1-ое опасное сечение опорного валка выдержит всего лишь 636 циклов нагружений. С учетом того, что один цикл нагружения соответствует одному обороту валка, за один цикл нагружения можно прокатать полосу длиной 3600...4000 мм. Полосы такой длины являются типовыми для прогладочного стана 2000. Ввиду того, что прогладка осуществляется, как правило, за 3...5 проходов, то обработка одного листа соответствует 3...5 циклам нагружения валка. Следовательно, опорный валок выдержит прогладку 127...212 листов с усилием прокатки 29,4 МН (3000 тс). Снижение усилия прокатки и соответственно уровня напряжений в валке приводит к увеличению его долговечности. Так при прогладке листов с усилием 24,5 МН (2500 тс) шейка опорного валка выдержит 1930 циклов нагружений или прокатку 386...643 листов. Прогладка листов с усилием 19,6 МН (2000 тс) допускает деформацию 11680...19470 заготовок без разрушения шейки опорного валка. При усилиях прокатки 14,7 МН (1500 тс) возможна прогладка 3,5...5,9 миллионов листов.

Большинство методик прочностных расчетов листопрокатных валков выделяет еще одно опасное сечение – середину бочки валка. Расчеты показывают, что для прогладочного стана 2000 в данном сечении не возникает опасных напряжений, однако разрушение валка в данном сечении возможно, если вблизи середины бочки имеются повреждения зернистой структуры металла: раковины, трещины и т. п. При нагружении данные дефекты выступают в качестве концентраторов напряжений, резко снижая прочность валка. Отдельные случаи разрушения опорных валков именно в центре бочки, очевидно, связаны с наличием в валках таких дефектов.

ВЫВОДЫ

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы относительно несущей способности опорного валка:

- при расчете на статическую прочность с 5-кратным запасом относительно предела прочности без учета концентраторов допустимое усилие прокатки составляет 16,15 МН (1646 тс);
- при расчете на статическую прочность с 2-кратным запасом относительно предела текучести с учетом концентраторов напряжений допустимое усилие прокатки составляет 12,75 МН (1300 тс);
- разрушение валков носит, как правило, усталостный характер;
- достаточная долговечность валка обеспечивается при усилиях прокатки не превышающих 14,7 МН (1500 тс), при этом обеспечивается прогладка 3,5...5,9 миллионов листов при 5-проходной схеме и длине листов 3600...4000 мм;
- при прогладке листов, отличающихся от базовых по длине и числу проходов, должна быть скорректирована и расчетная долговечность;
- увеличение усилий прокатки приводит к резкому снижению долговечности валка;
- следует также выполнить комплекс мероприятий по снижению концентрации напряжений в наиболее опасных сечениях за счет изменения геометрии, способов и качества обработки галтелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Машины и агрегаты для обработки цветных металлов и сплавов : учебное пособие для вузов / В. С. Паршин, В. П. Костров, Б. С. Сомов и др. – М. : Металлургия, 2001. – 400 с.*
2. *Выдрин В. Н. Процесс непрерывной прокатки / В. Н. Выдрин, А. С. Федосиенко, В. И. Крайнов. – М. : Металлургия, 1970. – 456 с.*
3. *Целиков А. И. Теория прокатки / А. И. Целиков, А. И. Гришков. – М. : Металлургия, 1970. – 358 с.*