

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 27

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
16 – 17 мая 2023 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2023**

тические значения продольной силы при прокатке в сочлененных прямоугольных калибрах, штрих с точкой – экспериментальные данные при прокатке в валках с выступом. Проведенные исследования подтвердили достоверность теоретических зависимостей, значения которых не отличались от экспериментальных более чем на 10 %. Определено влияние формы калибра и угла захвата на значения продольной силы при формировании сочлененного профиля. Относительно формы калибра установлено, что чем большую площадь контакта с заготовкой обеспечивает калибр, тем больше величина продольной силы. Полученные теоретические и экспериментальные зависимости продольной силы, используемой для продольного разделения сочлененных профилей представляют, практический интерес при реализации на сортовых прокатных станах современной энергоэффективной технологии прокатки – разделения.

Библиографический список

1. Фастыковский А.Р. Совмещенные процессы, использующие резервные силы трения в очаге деформации при прокатке: монография. - Новокузнецк: Изд-во НПК, 2007. – 246 с.
2. Фастыковский А.Р. Учет резервных сил трения при проектировании валковой арматуры / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяtko // *Металлург*. – 2001. - № 12. – С. 43 – 44.
3. Фастыковский А.Р. Изучение резервных сил трения при прокатке в вытяжных калибрах / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяtko // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2002. - № 4. – С. 22 – 24.
4. Фастыковский А.Р. Повышение точности сортовой прокатки / А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяtko // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2002. - № 6. – С. 14 – 16.
5. Фастыковский А.Р. Оценка возможностей процесса прокатки – прессования / А.Р. Фастыковский // *Кузнечно – штамповочное производство. Обработка металлов давлением*. – 2004. - №2. – С. 3 – 6.

УДК 621.771.06

ЦИФРОВОЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

**Раковский В.С., Чернова А.А., Наумченко Д.М., Щербак А.Н.,
Фастыковский А.Р.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: luccheese@inbox.ru*

Показаны возможности современных цифровых технологий для прочностного анализа оборудования прокатной клетки. Достоинства применяемого подхода показаны на примере оценки прочности деталей бесстанинной клетки 630 среднесортного стана 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с использованием

модуля прочностного анализа APM FEM Компас – 3D.

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование, оценка прочности, оборудование прокатной клетки.

Прокатное оборудование широко используется на металлургических предприятиях для получения готовой продукции. Условия работы этого оборудования связаны с большими статическими и динамическими нагрузками, высокой температурой. Такие условия эксплуатации создают высокие риски возникновения нештатных ситуаций, существенно влияют на качество выпускаемой продукции, стоимость основного прокатного оборудования, непосредственно участвующего в формоизменении. Затраты на его эксплуатацию весьма велики, и поэтому все непредвиденные остановки и поломки существенно влияют на себестоимость и конкурентоспособность прокатной продукции.

Одним из возможных путей продления службы прокатного оборудования, снижение затрат на его эксплуатацию – это тщательный прочностной расчет с максимальным учетом всех факторов влияния. Вопросу прочностных расчетов прокатного оборудования в технической литературе уделено большое внимание [1 - 3]. Имеющиеся методики расчета позволяют проводить предварительную оценку работоспособности прокатного оборудования, но точность их невелика, расчеты громоздки, много факторов остается не учтенными. С развитием цифровых технологий появилась возможность решения задач прочностного анализа оборудования на новом современном уровне с учетом влияния всего многообразия факторов [4]. В последних версиях пакетов программ Компас-3D, SolidWorks, T-FLEX CAD предусмотрены модули для прочностного анализа оборудования и конструкций. Модули прочностного анализа базируются на принципах трехмерного конечно-элементного моделирования и позволяют находить распределение напряжений, коэффициенты запаса по пределу текучести и устойчивости детали, температуру в различных точках по объему и др.

Использование упомянутых выше пакетов программ дает возможность конструктору уже на начальных стадиях проектирования принимать правильные и обоснованные конструктивные решения. Это, несомненно, повышает качество и экономит время, затрачиваемое на проектирование.

Основной задачей конечно-элементного моделирования в рассматриваемых пакетах программ является анализ прочности деталей и сборок, для которых важно быстро оценить прочность элементов с возможной оптимизацией конструкции, используя ассоциативную связь геометрической и расчетной моделей.

Проиллюстрируем сказанное выше на примере прочностного расчета бесстанинной клетки 630 среднесортного стана 450 АО "ЕВРАЗ ЗСМК" с использованием приложения APM FEM системы прочностного анализа Компас -3D. На начальном этапе необходимо создать трехмерную сборку подушки верхнего валка и анкеров и задать граничные условия по закрепле-

нию. Приложить расчетные нагрузки и сгенерировать конечно-элементную сетку с заданным коэффициентом сгущения на поверхности и коэффициентом разрежения в объеме (рисунок 1). Полученную сетку можно просматривать, как на поверхности, так и в глубине тела детали, изменяя положение бегунка "глубина просмотра".

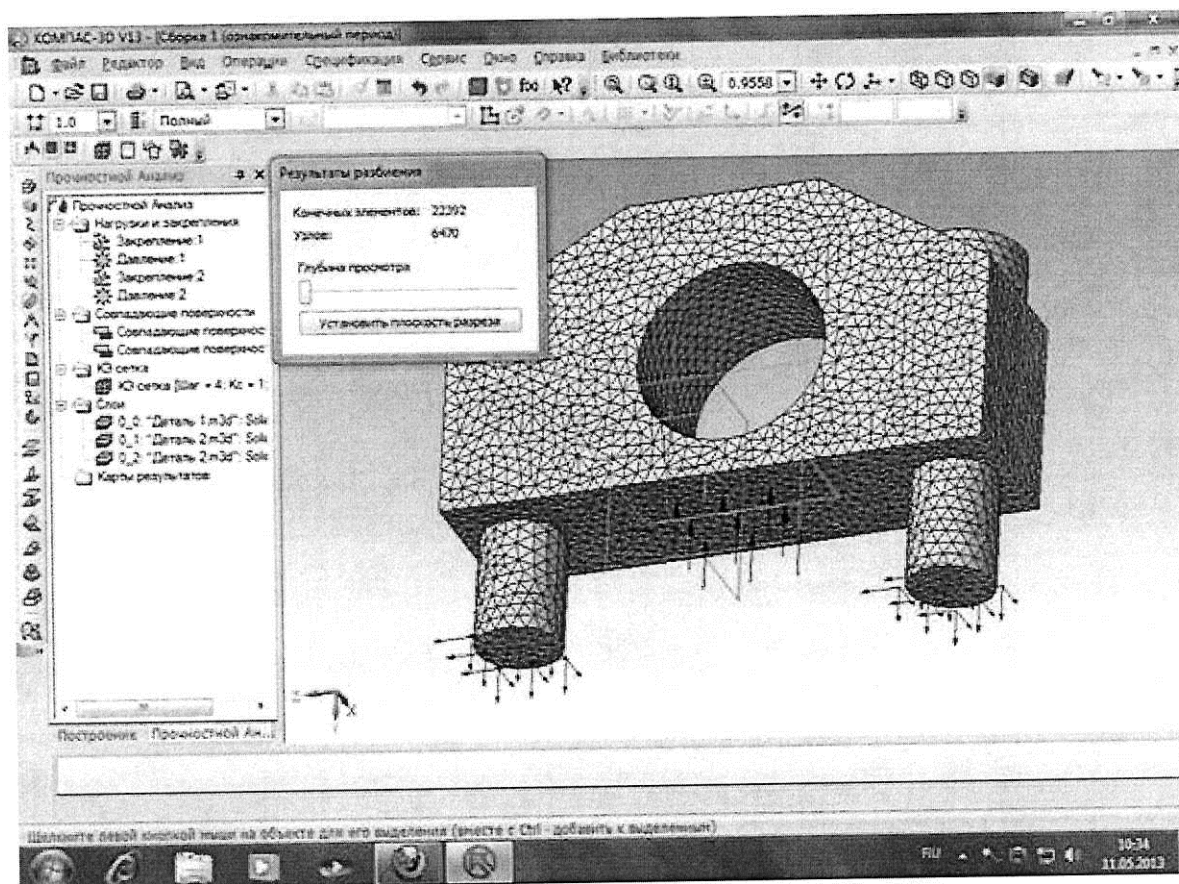


Рисунок 1 – Сгенерированная сетка конечных элементов

После выполнения подготовительных операций проводятся расчеты. В приложении АРМ FEM доступны следующие виды расчетов:

- линейный статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот (резонанса) и собственных форм колебаний;
- решение задачи стационарной теплопроводности;
- решение задачи термоупругости (при совместном выполнении статического и теплового расчетов).

Полученная при расчетах информация выводится в виде цветных карт, где показано распределение изучаемой величины в любом месте объема исследуемой конструкции. В качестве примера на рисунке 2 показано распределение коэффициентов запаса по пределу текучести в теле сборки.

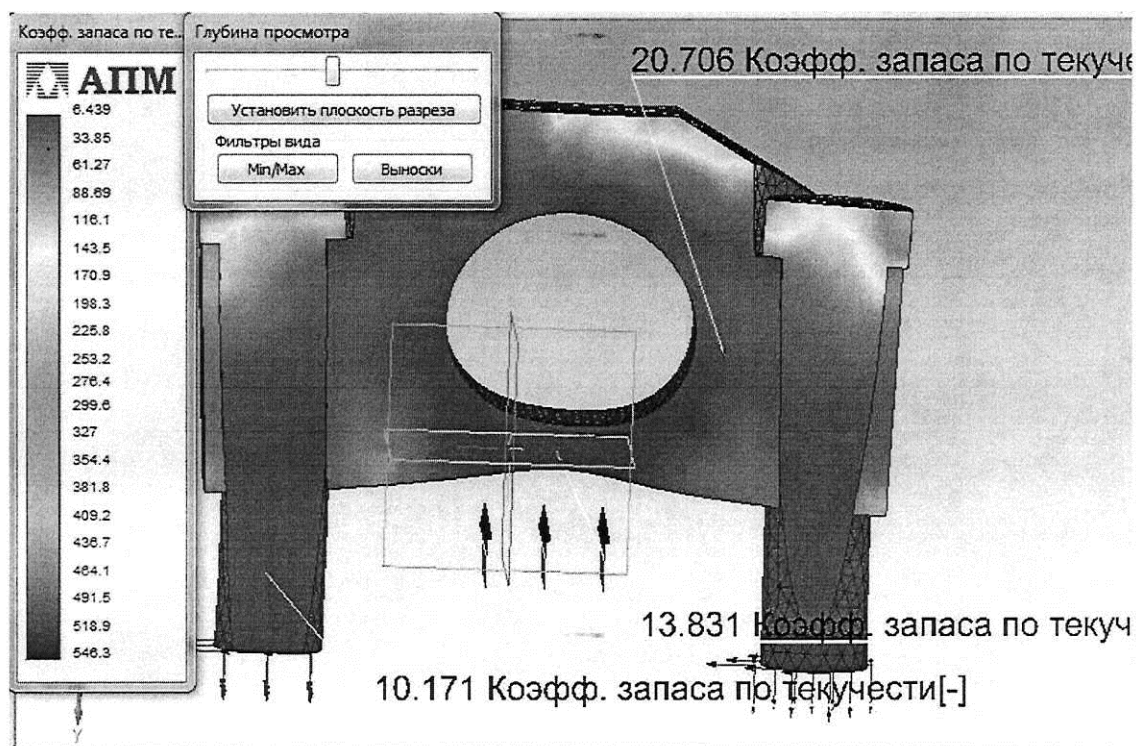


Рисунок 2 – Распределение коэффициентов запаса сборки по пределу текучести в теле сборки

Для оценки достоверности полученных данных были проведены расчеты коэффициентов запаса по пределу текучести традиционными методами [5, 6]. Приведенные на рисунках 1, 2 расчеты коэффициента запаса по пределу текучести выполнены для материала деталей сборки – стали 10КП. Это марка стали выбирается по умолчанию. В реальных условиях для материала анкеров используется сталь 40Х, а подушки получают литьем из стали 35Л с последующей механической обработкой. Для определения истинных коэффициентов запаса по пределу текучести ($K_{\text{н}}$) можно воспользоваться зависимостью:

$$K_{\text{н}} = K_{\text{расч}} \frac{\sigma_{\text{ист}}}{\sigma_{\text{расч}}} = K_{\sigma} K_{\text{расч}},$$

где $K_{\text{расч}}$ – коэффициент запаса по прочности для стали 10КП;

$\sigma_{\text{расч}}$ – предел текучести для стали 10КП;

$\sigma_{\text{ист}}$ – предел текучести материала, из которого изготовлена соответствующая деталь;

K_{σ} – поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент с учетом пределов текучести для стали 40Х – 4,6, для 35Л – 2,3.

Исходя из результатов, приведенных на рисунках 1,2 с учетом поправочных коэффициентов, минимальный коэффициент запаса прочности по пределу текучести для анкеров 46, для подушки 31. Значения коэффициен-

тов запаса прочности по пределу текучести достаточны для нормальной работы анкеров и подушки.

С учетом поправочного коэффициента минимальное значение коэффициента запаса по пределу текучести при компьютерном моделировании для анкера составило 46 для подушки 31. При расчете традиционным способом значения коэффициента запаса по пределу текучести составили соответственно 48 и 34. Сопоставление полученных данных показывает, что результаты близки, расхождение не более 10 %. Возможности компьютерного моделирования позволяют выявить участки конструкции с большим запасом по пределу текучести и уменьшить их металлоемкость, а на участках с небольшим запасом сосредоточить внимание при плановых проверках.

Правильная оценка запаса прочности оборудования прокатной клетки позволит снизить риски, связанные с поломкой оборудования. Для стана 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» это обычно 20-21 час в год с учетом стоимости часа простоя стана, эффект может составить до 8 миллионов рублей в год.

Библиографический список

1. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных трубных цехов. М.: Металлургия. 1987. 480 с.
2. Фастыковский А.Р., Савельев А.Н. Особенности конструирования и безаварийной работы валковой арматуры сортовых станов. М.: Теплотехник 2015. - с. 170.
3. Фастыковский А.Р., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Копылов И.В. Оценка степени технологических рисков в системе валки - арматура непрерывного мелкосортного стана // Сталь. - 2008. - № 2. - С. 63 - 64.
4. РФ Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в гос. Реестре №2006612893. Моделирование деформации в приводных- не приводных клетях / А.Р. Фастыковский, А.Н. Матвиенко. - Заявка №2006611932; зарегистрировано 11.08.06.
5. Фастыковский А.Р. Оборудование прокатных цехов. Учебное пособие с гриф УМО. Новокузнецк. СибГИУ. 2015. – 208.
6. Фастыковский А.Р. Савельев А.Н. Конструкции и расчеты оборудования прокатных клеток сортовых и листовых станов. Учебное пособие с грифом УМО. - Новокузнецк. СибГИУ. 2008. - 316 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $\text{CoCrFe}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$ С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТА ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ <i>Панова В.С., Кузнецова В.А., Осинцев К.А., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	172
СТРУКТУРА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ CoCrFeMnNi <i>Панченко И.А., Коновалов С.В., Гостевская А.Н., Дробышев В.К.</i>	174
ВЛИЯНИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СЛИТКОВ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексус В.С.</i>	177
ВОЗДЕЙСТВИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ТРАКТОРНОГО ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА $\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{Mg}_2\text{Si}_2$ <i>Прудников А.Н., Закирова Г.К.</i>	181
МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ 10 ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОТЖИГА <i>Прудников А.Н., Закирова Ш.К.</i>	184
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ВСТРОЕННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ <i>Баяндина М.М., Кустов А.В.</i>	187
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Князев С.В., Куценко А.А., Нечепорук А.И., Сорокин А.А.</i>	192
СИСТЕМА ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КОМФОРТА В ОБЖИМНОМ ЦЕХЕ <i>Куценко А.А., Назаров М.А.</i>	195
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ТЯГОДУТЬЕВЫХ АГРЕГАТОВ ГО МОЗ НА АСПИРАЦИОННЫЕ ГАЗО-ЖИДКОСТНЫЕ УСТАНОВКИ <i>Куценко А.А., Назаров М.А.</i>	198
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg-Cu <i>Дробышев В.К., Лабунский Д.Н., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	201
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАРГАНЦА <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Дида Н.И., Савичева Д.Н., Тархнишвили Г.Э.</i>	204
ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Вахромеев В.А., Фастыковский А.Р.</i>	210
ЦИФРОВОЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ <i>Раковский В.С., Чернова А.А., Наумченко Д.М., Щербак А.Н., Фастыковский А.Р.</i>	213