

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

*Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 1*

Новокузнецк
2017

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ РАСПЛАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАКА.....	104
Журавлев А.А.	
ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД	107
Полях О.А., Журавлев А.Д.	
ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВКИ НА СТЕПЕНЬ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА.....	111
Настюшкина А.В., Шевченко Е.А., Шевченко А.А.	
К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТАЛИ КОНВЕРТЕРНЫМ ВАНАДИЕВЫМ ШЛАКОМ	114
Рыбенко И.А., Голодова М.А., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.	
ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ИККИЖЕЛОН» (РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН).....	118
Рахманов О.Б., Аксенов А.В., Пемчинова Н.В., Солихов М.М., Черношвец Е.А.	
ВЕДЕНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА	123
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И.	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ОБНОВЛЕНИЯ ЦЕННОСТЕЙ МОЛОДЕЖИ	127
Власов А.А., Бажин В.Ю., Копцев А.Е.	
ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ТЕНДЕНЦИИ.....	130
Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Ходосов И.Е.	
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	135
ИССЛЕДОВАНИЕ УГАРА РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ МАРКИ 40С2 ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ПРОКАТКУ И ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ, ХИМИЧЕСКОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ЕЕ ОКАЛИНЫ	135
Темлянец М.В., Коноз К.С., Кузнецова О.В., Деев В.Б., Живаго Э.Я.	
ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ 100-М ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	140
Юрьев А.А., Громов В.Е., Морозов К.В., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В., Семин А.П.	
РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОЛИСТА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ 2500.....	144
Кондрашов С.А., Голубчик Э.М., Мартынова Т.Ю.	
МИКРОСТРУКТУРА И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ХАРДОКС 450, МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ Fe-C-Cr-Nb-W И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ	151
Громов В.Е., Кормышев В.Е., Глезер А.М., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Семин А.П.	
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ	155
Нго Као Кыонг, С.А. Зайдес	155
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ДЕФОРМИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ	159
Сычков А.Б., Столяров А.Ю., Камалова Г.Я., Ефимова Ю.Ю., Егорова Л.Ю., Гулин А.Е.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	165
Деев В.Б., Приходько О.Г., Пономарева К.В., Куценко А.И., Сметанюк С.В.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ СПОСОБОМ “КОНФОРМ”	169
Фастыковский А.Р., Селиванова Е.В., Федоров А.А.	
ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР	172
Кунцица Н.Г., Ташметова М.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ ТОНКИХ ШИРОКИХ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС	176
Кожевникова И.А., Кожевников А.В.	
АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	180
Фастыковский А.Р.	

2. Chefneux L., Fischbach J.-P., Gouzou J. Study and control of chatter in cold rolling. (1980) Iron and Steel Engineer 17–26.
3. Hu P.H., Ehmann K.F. Stability Analysis of Chatter on a Tandem Rolling Mill // International Journal of Manufacturing Processes. – 2000. – № 4. – P. 217 – 224.
4. Hardwick B.R. A technique from the detection and measurement of chatter marks on rolls surfaces // Steel Technology, No. 4, April 2003, pp. 64–70.
5. Kimura Y., Sodani Y., Nishiura N., Ikeuchi N. and Mihara Y. Analysis of Chatter in Tandem Cold Rolling Mills // ISIJ International, Vol. 43, No. 1, pp. 77–84, 2003.
6. Pryhodko I.Y., Krot P.V. Vibration monitoring system and the new methods of chatter early diagnostics for tandem mill control // Proc. of Int. Conf. “Vibration in rolling mills”, Inst. of Materials, Minerals and Mining, London, UK, 9th November, pp. 87–106, 2006.
7. Valigi M. C., Papini S. Chatter in a S6-high rolling mill // XXI Congresso AIMETA, Torino, Italy, 17–20 September (2013).
8. Кожевникова И.А., Маркушевский Н.А., Кожевников А.В., Сорокин Г.А. Моделирование и аналитическая диагностика вибраций в главных приводах станов холодной прокатки // Производство проката. – №7. – 2016. – С. 19–23.
9. Кожевникова И.А., Сорокин Г.А., Кожевников А.В. Моделирование и исследование параметров очага деформации при холодной прокатке в условиях нестационарного динамического нагружения // Производство проката. – №12. – 2016. – С. 13–16.

УДК 621.771

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация: Показаны возможности современных компьютерных технологий для прочностного анализа прокатного оборудования. Рассмотрен пример расчета бесстанинной клетки 630 среднесортного стана 450 АО “ЕВРАЗ ЗСМК” с использованием модуля прочностного анализа АРМ FEM Компас-3D.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, прочностной расчет, прокатное оборудование.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF ROLLING EQUIPMENT WITH THE USE OF COMPUTER MODELING

Fastykovsky A.R.

Siberian state industrial University,
Novokuznetsk, Russia

Abstract: The possibilities of modern computer technology for strength analysis of the rolling equipment. An example of the calculation Besta-Ninoy crates 630 medium section mill 450 JSC “EVRAZ ZSMK” using fashion-La strength analysis APM FEM for Kompas-3D.

Key words: computer simulation, strength analysis, rolling equipment.

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 инцидентов, существенно влияют на качество выпускаемой продукции. Стоимость основного прокатного оборудования, 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 не велика, расчеты громоздки, много факторов остается не учтенными. С развитием компьютерной техники 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 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, температуры 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 используя, построенные 3D-модели. 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 надежность 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 ОА "ЕВРАЗ ЗСМК" с использованием приложения АРМ FEM системы прочностного анализа Компас -3D V16. На начальном этапе необходимо создать трехмерную сборку подушки верхнего вала и анкеров и задать граничные условия по закреплению. 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".

После выполнения подготовительных операций проводятся расчеты. Полученная при расчетах информация выводится в виде цветных карт, где показано распределение изучаемой величины в любой точке объема исследуемой конструкции. В качестве примера на рисунке 2 показано распределение коэффициентов запаса по пределу текучести в теле сборки.

Для оценки достоверности полученных результатов были проведены расчеты коэффициентов запаса по пределу текучести традиционными методами [6] и сопоставлены с машинными расчетами. При проведении проверочных расчетов для реальных конструкций с использованием приложения АРМ FEM возникла проблема с ограниченной библиотекой марок сталей. В качестве базовой по умолчанию в приложении используется сталь 10КП. Данное неудобство можно устранить вводя поправочный коэффициент (K_{σ}).

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{ист}}{\sigma_{расч}}, \quad (1)$$

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

$\sigma_{расч}$ – предел текучести материала, используемого при расчетах.

Используя значение поправочного коэффициента можно определить истинное значение коэффициента запаса по пределу текучести (K_u) для любого материала по формуле:

$$K_u = K_{\sigma} K_{расч}, \quad (2)$$

где $K_{расч}$ – расчетное значение коэффициента запаса по пределу текучести при использовании материала детали по умолчанию (сталь 10КП).

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%. Однако возможности компьютерного моделирования позволяют выявить участки конструкции с большим запасом по пределу текучести и уменьшить их металлоемкость, а на участках небольшим запасом сосредоточить внимание при плановых проверках.

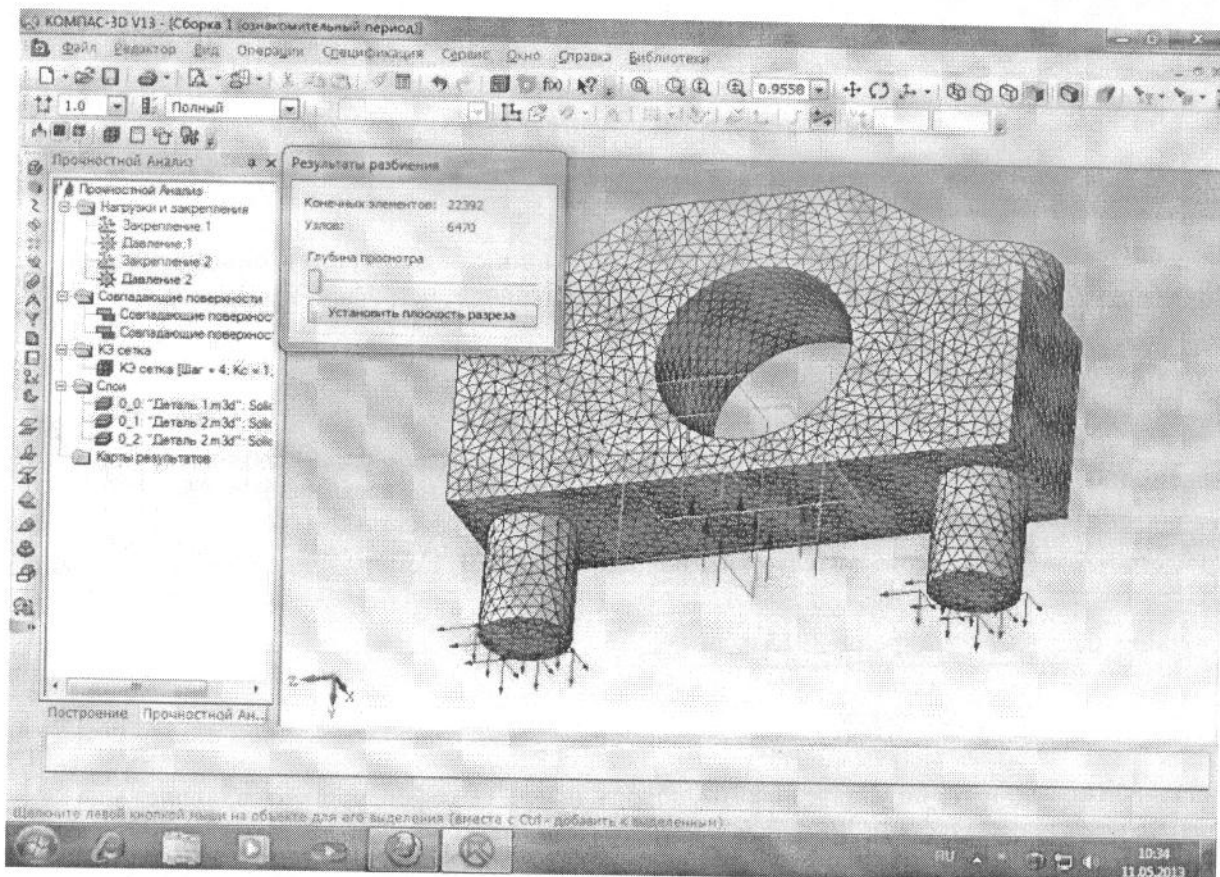


Рисунок 1 – Сгенерированная сетка конечных элементов



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

Еще одна важная особенность используемого пакета программ это возможность определения упругой деформации деталей рассматриваемой сборки рисунок 3. Такого рода информация представляет интерес для корректирования калибровок с учетом упругой деформации деталей прокатной кле-

ти. Величину упругой деформации можно оценить, как для отдельных деталей, выявив слабые звенья, так и в целом конструкции. С учетом суммарной величины упругой деформации прокатной клетки можно обоснованно выбирать величину зазора между валками.

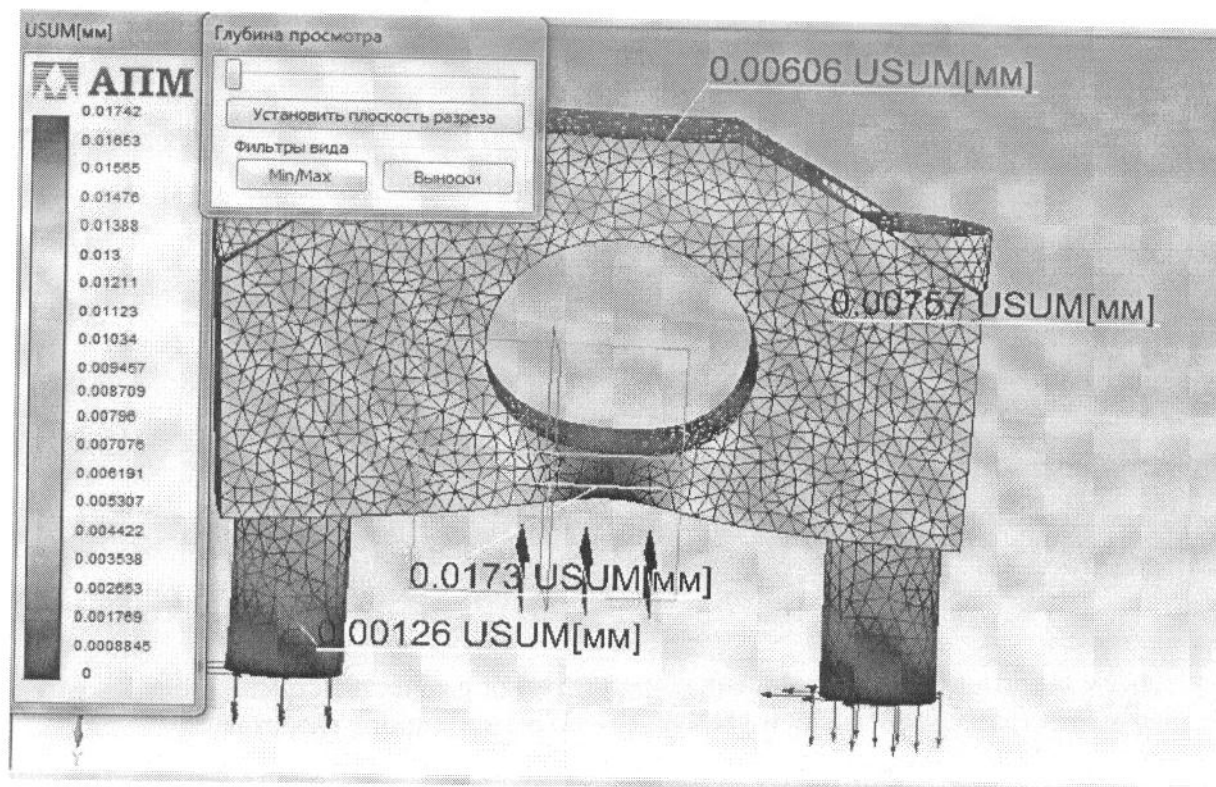


Рисунок 3 – Распределение упругой деформации в деталях сборки

Приведенные в работе результаты показывают возможности и преимущества современных компьютерных технологий при оценке работоспособности основного прокатного оборудования.

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 технологического риска 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 клетей сортовых и листовых станов. Учебное пособие с грифом УМО.– Новокузнецк. СибГИУ. 2008. – 316 с.