

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1959 ГОДА

ISSN 0234-8241

КШП



МА

№ 6'23

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО • ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



Фрагмент картины «Утро в кузнице» из серии «Люди совхоза-завода Коктебель», Цигаль В. Е., 1984 г.

ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.97.06:539.421

Н. С. КРАВЦОВ; И. А. СУРКОВ, канд. техн. наук (ООО «Надёжность ТМ», г. Москва)

E-mail: kranik96@gmail.com

N. S. Kravtsov, I. A. Surkov («Nadezhnost PLUS Ltd.», Moscow)

Исследование причин возникновения трещин в поперечинах мощных гидравлических прессов в зонах действия сжимающих нагрузок

Investigation of the causes of cracks in the crossbars of powerful hydraulic presses in the areas of compressive loads

Проведен анализ причин возникновения усталостных трещин в базовых деталях гидравлических прессов в зонах действия сжимающих напряжений. Рассмотрено влияние внецентренного нагружения и дефектов литья на усталостную прочность деталей прессов.

An analysis of the causes of fatigue cracks in the base parts of hydraulic presses in the areas of compressive stresses has been carried out. The influence of eccentric loading and casting defects on the fatigue strength of press parts is considered.

Ключевые слова: гидравлический пресс; базовые детали; конечно-элементный расчет; напряженно-деформированное состояние; малоцикловая усталость; усталостная прочность.

Keywords: hydraulic press; basic details; finite element calculation; stress-strain state; low-cycle fatigue; fatigue strength.

Базовые детали и узлы мощных гидравлических прессов, осуществляющих процессы обработки давлением, в большинстве своем работают в условиях циклических нагрузок. Как известно, длительное циклическое воздействие приводит к постепенному накоплению в металле повреждений, приводящих к возникновению дефектов в виде усталостных трещин. Основную роль в зарождении и развитии трещин по механизму усталости играет величина и распределение максимальных растягивающих напряжений, действующих в теле детали. Поперечины мощных гидравлических прессов

различной конструкции и назначения работают в условиях пульсирующего цикла напряжений, т. е. напряжения в детали изменяются от нулевого до максимального значения за один цикл нагружения. Таким образом, для определения запаса усталостной прочности детали можно воспользоваться следующей формулой:

$$n_f = \frac{\sigma_0}{\sigma_1^{\max}},$$

где σ_0 – предел выносливости при пульсирующем цикле нагружения; $\sigma_1^{\max}$ – макси-

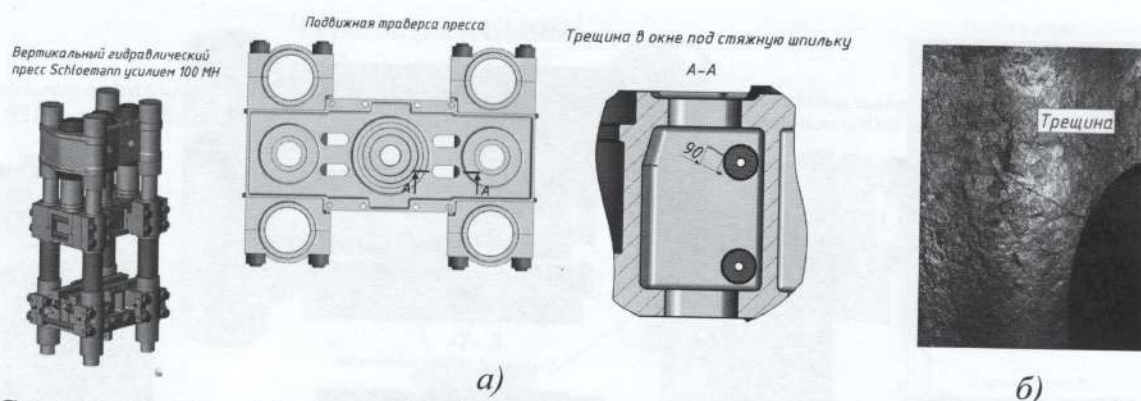


Рис. 1. Схема расположения (а) и фотография (б) трещины в корпусе подвижной траверсы

мальные первые главные напряжения цикла нагружения.

Однако на практике имеет место ряд случаев возникновения трещин в зонах действия сжимающих напряжений. К примеру, при диагностике состояния базовых деталей гидравлического штамповочного прессы *Shloemann* усилием 100 МН обнаружена трещина в технологическом окне под стяжную шпильку корпуса подвижной траверсы (см. рис. 1).

Результат конечно-элементного расчета конструкции траверсы при нагружении прессы номинальным усилием 100 МН представлен на рис. 2, а, см. 3-ю полосу обложки, а механические характеристики стали 35Л, из которой изготовлена траверса, приведены в таблице.

Таблица
Механические характеристики стали 35Л

Деталь	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел усталости σ_0 , МПа
Траверса подвижная	534	308	190

По результатам расчета видно, что напряжения в зоне образования трещины не только не превышают напряжение усталости, но и вообще имеют отрицательное значение. Это свидетельствует о том, что в данной зоне в принципе отсутствуют растягиваю-

щие напряжения. При рассмотрении поля распределения сжимающих напряжений в корпусе траверсы (см. рис. 2, б, 3-я полоса обложки) обнаружено, что значения напряжений сжатия в зоне образования трещины превышают предел текучести стали 35Л.

Таким образом, можно сделать предположение, что разрушение в данной зоне вызвано малоцикловою усталостью. Механизм образования трещин в сжатой зоне исследован экспериментально при испытании крупногабаритных заготовок [1], и его суть заключается в том, что как только приложенные напряжения сжатия начинают превышать величину предела текучести, в этом объеме металла происходит релаксация напряжений, и снятие нагружения уже воспринимается, как растяжение.

Одной из причин возникновения усталостных трещин в базовых деталях прессы является эксплуатация оборудования за рамками проектных режимов работы. Так, например, при осмотре подвижной траверсы ковочного прессы УЗТМ усилием 60 МН во внешних ребрах жесткости обнаружены трещины (см. рис. 3).

Напряжения сжатия в зоне образования трещин не превышают значения 97 МПа, а максимальные сжимающие напряжения возникают во внутреннем окне стенки центрального отверстия и составляют 169 МПа (см. рис. 4, а, 3-я полоса обложки). Уровень же растягивающих напряжений, в свою оче-

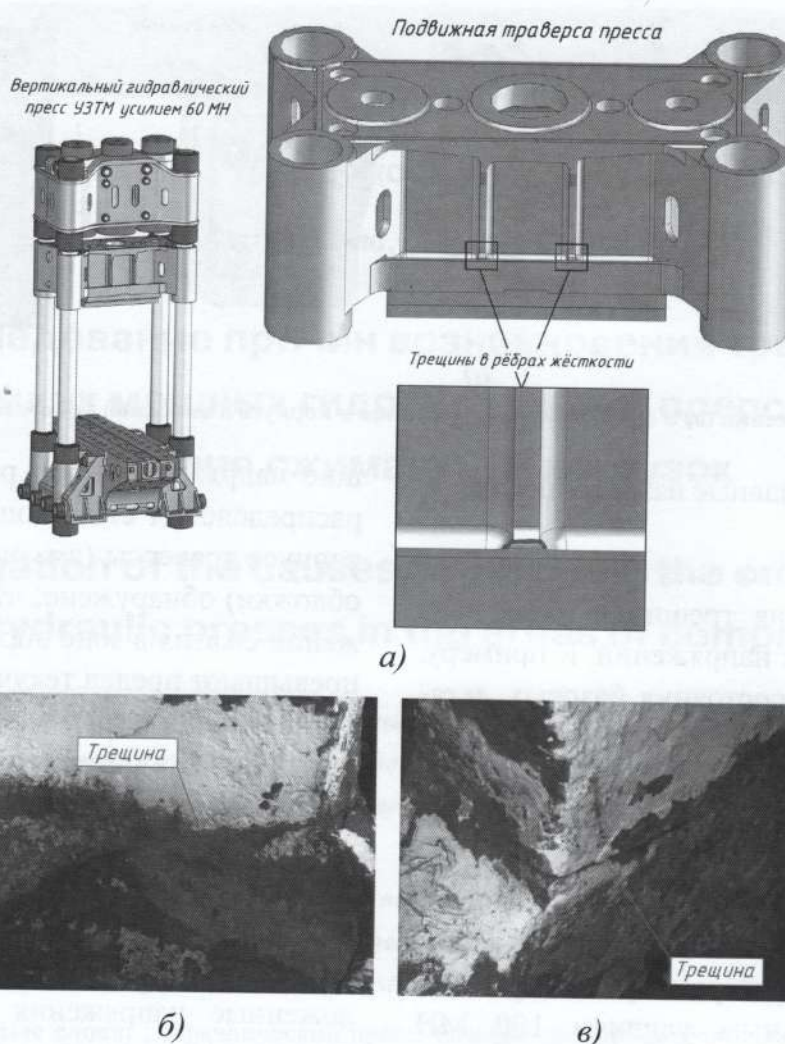


Рис. 3. Схема расположения трещин в корпусе (а) и их фотографии (б, в) во внешних ребрах подвижной траверсы пресса

редь, не превышает 101 МПа. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что конструкция подвижной траверсы обладает неограниченной долговечностью, так как значения действующих растягивающих напряжений не превышают предела усталости, а сжимающих – предела текучести стали 35Л, из которой изготовлена траверса. Следовательно, необходимо искать причины, из-за которых возникает перераспределение значений напряжений, результатом чего становится появление трещин в ребрах подвижной траверсы.

От работников предприятия, на котором установлено данное оборудование, получена информация, что для ускорения техноло-

гического процесса на прессе производитсяковка заготовок с их внецентренным расположением относительно оси пресса, т. е. с эксцентриситетом. Конечно-элементный расчет конструкции показывает, что при внецентренном нагружении в ребрах возникают напряжения сжатия равные 349 МПа, что превышает предел текучести стали 35Л, значение первых главных напряжений в данном случае увеличивается несущественно – до 170 МПа (см. рис. 4, б, 3-я полоса обложки). Таким образом, можно сделать вывод, что появление данных трещин также связано с механизмом малоциклового усталости. Однако стоит отметить, что причина возникновения «благоприятных» условий

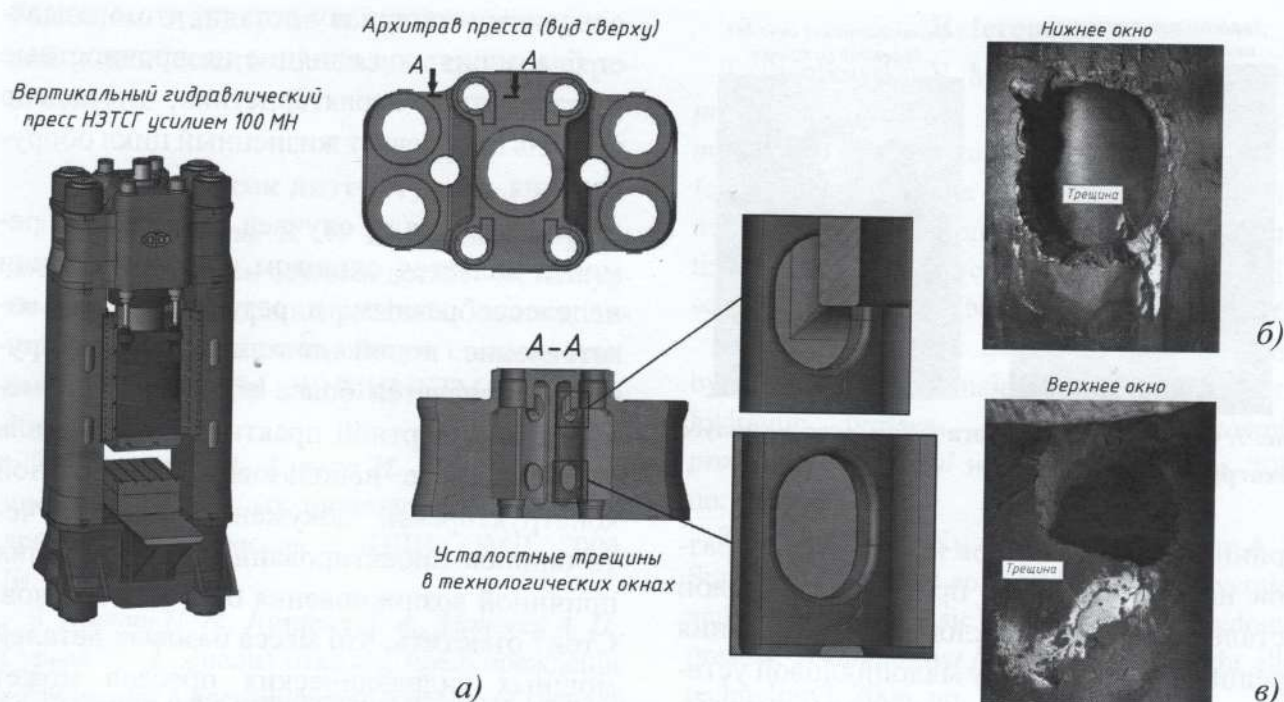


Рис. 5. Схема расположения трещин в корпусе архитрава пресса (а) и их фотографии (б, в) в технологических окнах

для протекания процессов малоциклового усталости вызвана работой оборудования в непроектных режимах эксплуатации.

Следующим фактором, оказывающим негативное влияние на прочностные и усталостные характеристики базовых деталей прессов, является качество литья. Подтверждением данного высказывания может служить факт образования трещин в технологических окнах архитрава гидравлического пресса усилием 100 МН (см. рис. 5).

В конструкции архитрава присутствует четыре пары технологических окон, расположенных симметрично относительно продольной и поперечной осей пресса. Трещины возникают лишь в двух из них, на кромках которых присутствуют литейные дефекты. Согласно результатам конечно-элементного расчета сжимающие напряжения, действующие в нижнем окне, несущественно превышают предел текучести стали 35Л, из которой изготовлен архитрав, и составляют 318 МПа, а напряжения в верхнем окне вовсе составляют 165 МПа (см. рис. 6, 3-я полоса обложки).

Тот факт, что трещины образуются в технологических окнах, на кромках которых присутствуют литейные дефекты в виде неравномерных несплошностей, которые, в свою очередь, служат дополнительными концентраторами напряжений, позволяет выдвинуть предположение, что причиной возникновения данных трещин является именно плохое качество литья. Для сравнения на рис. 7 представлены фотографии с дефектами на кромке и без них.

Это позволяет сделать следующий вывод: наличие литейных дефектов в зонах, где уровень сжимающих напряжений близок к значению напряжения текучести оказывает негативное влияние на выносливость металла.

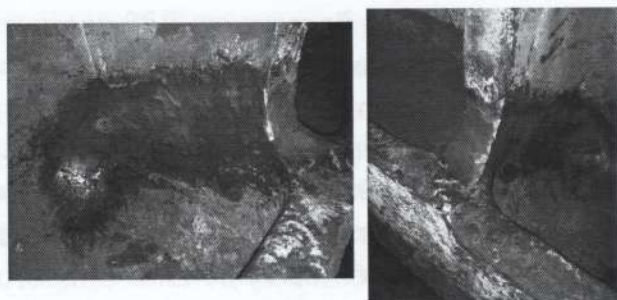
В настоящий момент большая часть мощных гидравлических прессов, эксплуатируемых на отечественных предприятиях, изготовлена в 1970–1980 гг. и можно с уверенностью утверждать, что в основной массе жизненный цикл базовых деталей данного оборудования приближен к значению $1 \cdot 10^6$ циклов нагружения, которое традиционно

Дефекты литья на кромке
технологического окнаТехнологическое окно без
дефектов на кромкеРис. 7. Фотографии технологических окон в корпусе
архитрава прессы

принимается за базу при испытаниях образцов на выносливость при многоциклового усталости. Число циклов до образования трещины по механизму малоциклового усталости в десятки раз меньше и варьируется в пределах 10^4 – 10^5 . Таким образом, представляется возможным проведение анализа причин возникновения отказов оборудования в следствие протекания процессов усталости и разработка технических решений по их устранению в дальнейшем.

На некоторых прессах уже проведены ремонтно-восстановительные работы выявленных усталостных трещин посредством сварки [2–4]. Трещины, образовавшиеся в ребрах подвижной траверсы прессы усилием 60 МН, о которых написано выше, в свою очередь, также заварены (см. рис. 8).

Современные сварочные материалы позволяют улучшать механические свойства наплавленного металла по отношению к

Рис. 8. Фотографии заваренных трещин во внешних
ребрах траверсы

основному материалу детали, что оказывает благоприятное влияние на прочностные и усталостные характеристики, что в свою очередь продлевает жизненный цикл оборудования.

Однако в ряде случаев проведение ремонта является слишком трудоемким или нецелесообразным, в результате чего изготовление новой детали взамен разрушенной является более обоснованной мерой. В стандартной практике новая деталь выпускается с использованием исходной конструкторской документации без учета ошибок проектирования, послуживших причиной возникновения будущих отказов. Стоит отметить, что масса базовых деталей мощных гидравлических прессов может достигать нескольких сотен тонн и их изготовление связано с большими временными и финансовыми затратами.

Выводы. Во избежание неэффективных вложений в ремонт оборудования необходимо уделять особое внимание поиску причин, вызывающих появление трещин в конструкции и принимать соответствующие меры для их устранения, а именно:

1. При проведении конечно-элементных расчетов рекомендуется анализировать поле распределения не только растягивающих, но и сжимающих напряжений. В случае возникновения сжимающих напряжений, превышающих предел текучести материала, вносить конструктивные изменения, позволяющие снижать уровень напряжений в рассматриваемой зоне или же применять методы локального упрочнения опасных зон;
2. Обеспечивать контроль за соответствием условий эксплуатации оборудования проектным режимам работы (отсутствие перегрузок, эксцентриситета нагружения и т. д.);
3. Проводить обязательный входной контроль литых изделий на соответствие тре-

бованиям стандартов и технических условий (химического состава, микро- и макро-структур).

Список литературы

1. Пионтковский В. М. Исследование усталостной прочности базовых деталей металлургических машин при напряжениях сжатия: Автореферат дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. (05.04.04). М.: ВНИИМЕТМАШ. 1975. 26 с.
2. Королев С. А., Сурков И. А. Восстановление сваркой главных цилиндров мощных гидравлических прессов // КШП. ОМД. 2004. № 6. С. 37–39.
3. Коркин Н. П., Кулагин Д. А., Моисеев А. П., Сурков И. А. Анализ отказов, предупреждение разрушений и восстановление базовых деталей мощных гидравлических прессов // Технология легких сплавов. 2006. № 1–2. С. 181–189.
4. Сурков И. А., Королев С. А., Моисеев А. П., Прудников С. В. Установление причин разрушения и восстановление сваркой донной части главных цилиндров мощных гидравлических прессов // Четвертая Международная Неделя Металлов в Москве 2006. 2007. С. 468–474.

References

1. Piontkovsky V. M. *Issledovanie ustalostnoj prochnosti bazovyh detalej metallurgicheskikh mashin pri naprjazhenijah szhatija* [Study of the fatigue strength of the base parts of metallurgical machines under compression stresses: Abstract of the thesis for the degree of candidate of technical sciences]. Moscow, VNIIMETMASH, 1975, 26 p.
2. Korolev S. A., Surkov I. A. Restoration by welding of the main cylinders of powerful hydraulic presses. *Forging and stamping production. Material working by pressure*, 2004, no. 6, pp. 37–39.
3. Korkin N. P., Kulagin D. A., Moiseev A. P., Surkov I. A. Failure analysis, damage prevention, and restoration of basic parts of powerful hydraulic presses. *Tekhnologiya legkih splavov* [Light alloy technology], 2006, no. 1–2, pp. 181–189.
4. Surkov I. A., Korolev S. A., Moiseev A. P., Prudnikov S. V. Establishment of the causes of destruction and restoration by welding of the bottom part of the main cylinders of powerful hydraulic presses. *Fourth International Metals Week 2006*, Moscow, 2007, p. 468–474.

Вниманию подписчиков!

Обращаем Ваше внимание на то, что с начала 2010 года издается журнал под названием «Кузнечно-штамповочное производство», выпускаемый неким Жарковым В.А. и не имеющий никакого отношения к нашему журналу «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением».

Использование Жарковым В.А. для своего издания первой части названия журнала «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением» вводит в заблуждение наших подписчиков. Журнал, издаваемый Жарковым В.А., имеет совершенно другую тематическую направленность, он не входит в перечень ВАКа и по сути является сборником трудов самого Жаркова В.А.



«Исследование причин возникновения трещин в поперечинах мощных гидравлических прессов в зонах действия сжимающих нагрузок»

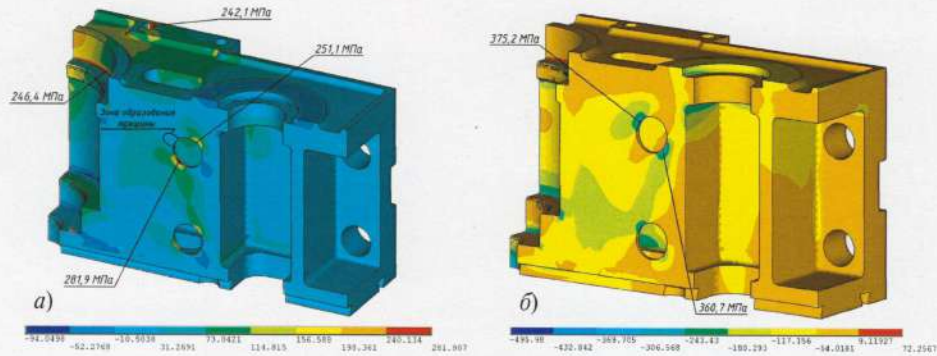


Рис. 2. Напряженное состояние подвижной траверсы (¼ часть детали):
а, б — главные напряжения σ_1 , σ_3 , МПа, соответственно

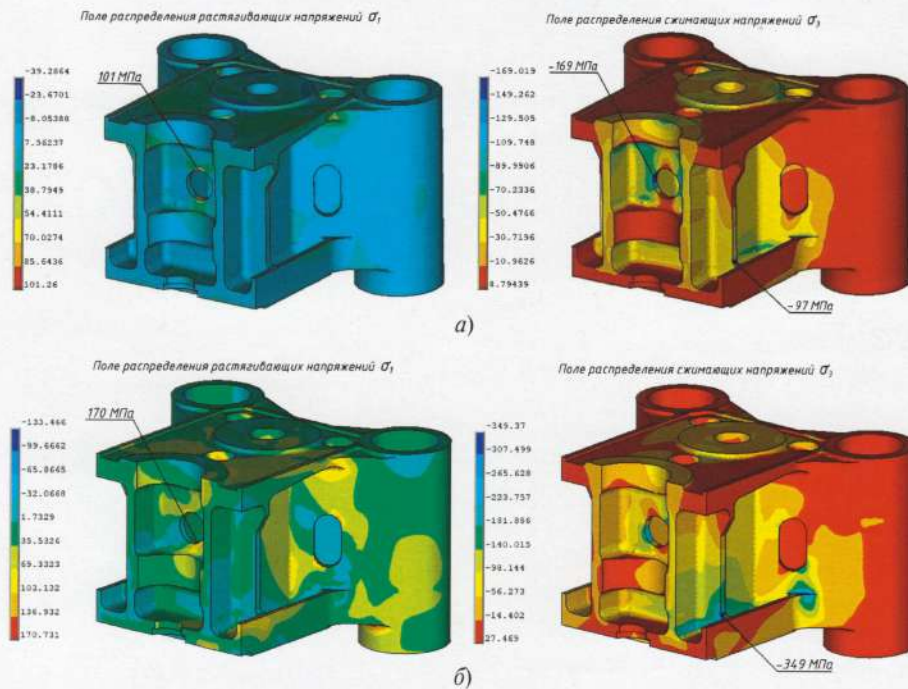


Рис. 4. Поля распределения растягивающих σ_1 (слева) и сжимающих напряжений σ_3 (справа) при проектном режиме нагружения (а) и нагружении с эксцентриситетом (б)

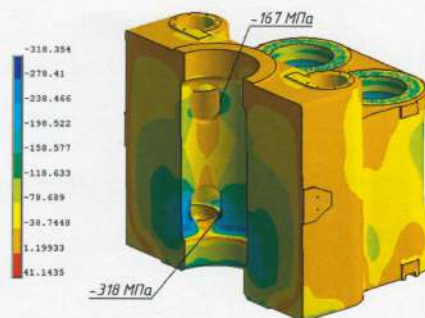


Рис. 6. Напряженное состояние подвижной траверсы (½ часть детали),
главные напряжения σ_3 , МПа

