

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 2, ISSUE 1

MARCH, 2025



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 1 MARCH, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Basics of developing a model of deformation of elastic-plastic half-space of cast iron

N.K. Tursunov¹^a, A.P. Kren²^b, T.M. Tursunov¹^c, T.T. Urazbaev¹^d,
Sh.I. Mamaev¹^e, U.T. Rakhimov¹^f, J.B. Bakhtiyorov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus







Abstract:

The article is devoted to the creation of a model of deformation of the elastic-plastic half-space of iron-carbon alloys, which is important for the accurate determination of the physical and mechanical properties of this material. The main objective of the study is to conduct a finite element analysis of changes in the stress-strain state of the elastic-plastic half-space of cast iron under the local dynamic action of a rigid spherical indenter. As a result of the analysis, it is planned to construct a dynamic diagram of indentation of the indenter in the coordinates "force - displacement". Successful modeling of the deformation process will significantly reduce the volume of full-scale experiments and reduce the number of samples required for testing. The ANSYS Workbench software environment was used in the modeling, in which graphical dependencies of stress-strain values were developed, describing the linear behavior of the material during deformation. Modeling was also carried out for various combinations of Poisson's ratio.

Keywords:

cast irons, deformation, physical and mechanical characteristics, Person model, local contact interaction, indentation, Poisson's ratio, model adequacy

Основы разработки модели деформирования упругопластического полупространства чугуна

Турсунов Н.К.¹^a, Крень А.П.²^b, Турсунов Т.М.¹^c, Уразбаев Т.Т.¹^d,
Мамаев Ш.И.¹^e, Рахимов У.Т.¹^f, Бахтиёров Ж. Б¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация:

Статья посвящена созданию модели деформации упругопластического полупространства железо-углеродистых сплавов, что важно для точного определения физико-механических свойств данного материала. Основная цель исследования заключается в проведении конечно-элементного анализа изменения напряженно-деформированного состояния упругопластического полупространства чугуна при локальном динамическом воздействии жесткого сферического индентора. В результате анализа планируется построить динамическую диаграмму вдавливания индентора в координатах «усилие – перемещение». Успешное моделирование процесса деформации позволит значительно сократить объем натурных экспериментов и уменьшить количество образцов, необходимых для испытаний. При моделировании использовалась программная среда ANSYS Workbench, в которой были разработаны графические зависимости величин напряжение-деформация, описывающие линейное поведение материала в процессе деформирования. Также было проведено моделирование для различных сочетаний коэффициента Пуассона.

Ключевые слова:


чугуны, деформирование, физико-механические характеристики, модель Персона, локально контактное взаимодействие, индентирование, коэффициента Пуассона, адекватности модели


1. Введение

Существует ряд особенностей деформирования чугуна. Существует ряд особенностей деформирования чугуна, присущих только данному материалу. Так, в частности коэффициент Пуассона данного материала может изменяться по мере увеличения деформации.


Кроме этого, имея одну и ту же твердость в рамках одной марки чугуна, он может обладать различным модулем упругости. Также чугун может иметь одну и ту же прочность обладая при этом различной формой графитовых включений [1]. В тоже время для таких чугунов будет существенно изменяться его относительное удлинение и предел текучести [2]. Все


^a <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

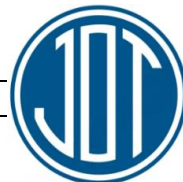
^b <https://orcid.org/0000-0001-9658-1003>

^c <https://orcid.org/0000-0002-6834-7356>

^d <https://orcid.org/0009-0006-1808-489X>

^e <https://orcid.org/0009-0002-6073-747X>

^f <https://orcid.org/0009-0001-9819-5314>



это будет определенным образом влиять на кривую динамического микроударного деформирования [3].

Моделируемый процесс локального контактного взаимодействия аналогичен процессу внедрения индентора в металл для твердомеров с ударным принципом действия: индентор ускоряется под действием придаваемого ему силой тяжести или разгонной пружины импульса, соприкасается с поверхностью испытуемого образца (изделия), после чего его скорость начинает падать вплоть до нуля [3]. А далее происходит отскок индентора под действием упругих деформаций, запасенных в процессе удара.

В процессе выполнения работ использовался пакет ANSYS без подключения дополнительных модулей. Моделирование включало следующие основные этапы:

- построение геометрии соударяющихся тел;
- построение конечно-элементной сетки;
- задание граничных условий;
- задание характеристик материалов;

Далее формировалась система уравнений, связывающая граничные условия с неизвестными, после чего эта система решалась относительно неизвестных. В результате была получена возможность рассчитать значение любого параметра в любой точке любого конечного элемента по той же искомой функции, которая использовалась при построении системы уравнений.

2. Методология исследования

В данном исследовании для получения достоверных результатов проведен методический анализ для разработки модели деформирования упругопластического полупространства материала [4]. Исходя из этого существует необходимость в решении задачи пластической деформации при воздействии ударной нагрузки, чтобы достоверно охарактеризовать модель и ее интегральную оценку. Для этого поэтапно необходимо задать геометрические параметры модели, а также задать построение конечно-элементной сетки и граничные условия модели.

Задание геометрических параметров модели

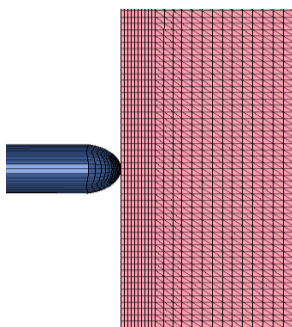


Рис. 1. Внешний вид геометрии модели

На первом этапе ставилась задача создания формы и размеров соприкасающихся индентора и контролируемого изделия. Для упрощения на начальной стадии моделирования изделие принималось плоской формы (100x25x5 мм), а геометрические параметры индентора принимались близким, к реально используемым при контроле (длина 25 мм, радиус сферы 0,9 мм). Ввиду отсутствия данного материала во

встроенном модуле Engineering Data, авторами предложен материал Tungsten carbide и определены его свойства согласно справочным данным. Геометрия для этих тел была построена с помощью КЭ пакета ANSYS Workbench стандартными средствами проектирования (рис. 1).

Построение конечно-элементной сетки

На этапе построения сетки выполнялось разбиение геометрических моделей, взаимодействующих объектов конечно-элементной сеткой. Данная сетка генерируется на геометрической модели и является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде из двух существующих вариантов генерации сетки:

- автоматическая генерация сетки с установками по умолчанию при запуске на решение;
- генерация сетки с задаваемыми пользователем установками.

Для данной работы был выбран второй вариант, так как для повышения адекватности модели необходимо задать плотность, форму элементов и размер сетки. При автоматическом разбиении сетка может быть слишком грубой, что негативно сказывается на точности конечного решения.

Для динамического анализа объемных тел в ANSYS сетка создается с использованием тетраэдрических или гексаэдрических твердых элементов с линейной или квадратичной функцией формы (рис. 2). Размер элементов (Element size) определяет среднюю длину ребра элемента. Проведенные предварительные расчеты показали, что при различных размерах элементов оптимальное время решения модели (8 часов) достигается при параметре Element size не менее 0,3 мм, что также обеспечивает достаточную точность вычислений. Равномерность сетки на грани образца, в которую внедряется индентор, достигается с помощью опции Mapped face meshing.

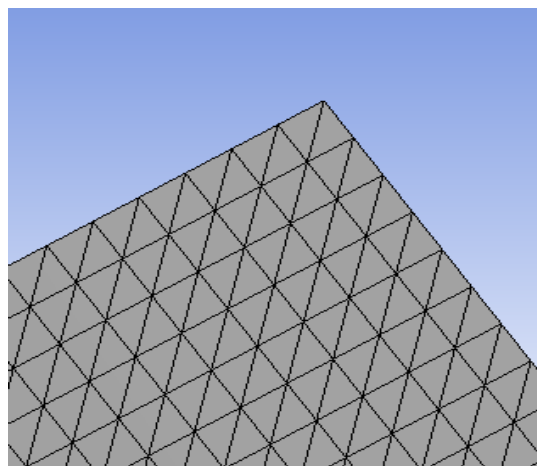


Рис. 2. Равномерная Explicit сетка образца

Граничные условия модели

Одним из важных этапов повышения адекватности модели и подготовки модели к расчету является задание “нагрузок” и “ограничений”. Под этими терминами понимаются все внешние и внутренние воздействия на модель. При конечно-элементном моделировании в нашем случае состояние тела характеризуется конечным числом степеней свободы в узлах сетки. Жесткость

образца задавалось с помощью ограничения степеней свободы по направлению движения индентора нижних узлов конечно-элементной сетки плиты.

Для целей моделирования было выбрано значение предупредной скорости индентора равное 1,88; 1,5 и 3,0 м/с, что соответствует реальным значениям, применяемым в динамических твердомерах [4].

В качестве контролируемого материала в рамках исследования из библиотеки General Materials была выбрана конструкционная сталь (Structural steel) с модулем упругости 200 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,3 и различными пределами текучести σ_t и коэффициентами деформационного упрочнения n . В условиях отсутствия пластических деформаций (т.е. при $\sigma \leq \sigma_t$) процесс деформирования описывался линейной зависимостью напряжения σ от деформаций ε , т.е. законом Гука (уравнение 1). Нелинейное упругопластическое поведение материала в процессе нагружения в интервале изменения напряжений $\sigma \geq \sigma_t$ задавалось согласно степенному закону упрочнения (уравнение 2) [5]:

$$\sigma = E\varepsilon, \text{ при } \sigma \leq \sigma_t \quad (1)$$

$$\sigma = K\varepsilon^n, \text{ при } \sigma \geq \sigma_t, \quad (2)$$

где σ – напряжения в материале, ε – деформация, n – коэффициент деформационного упрочнения, K – коэффициент пропорциональности, определяемый механическими характеристиками материала.

Характерным отличием зон упругой и пластической деформации состоит в том, что коэффициент пропорциональности между σ и ε в упругой зоне является определенной константой (модуль упругости E), а в пластической зоне за счет деформационного упрочнения становится различным для каждого сочетания σ_t и n .

Найти коэффициент пропорциональности K можно, если рассмотреть случай достижения материалом предела текучести ($\sigma = \sigma_t$), тогда из уравнений (1) и (2) получим:

$$K = \sigma_t^{1-n} E^n. \quad (3)$$

Уравнения (1) и (2) предполагает использование условных напряжений и деформаций (σ_y и ε_y соответственно), т.е. напряжений и деформаций аналогичных тем, что используются при построении диаграммы растяжения при стандартных испытаниях. Для описания пластичности материала в среде ANSYS должны использоваться истинные напряжения и деформации, т.к. они наиболее точно характеризуют его состояние в процессе моделирования.

В области малых деформаций условные напряжения практически соответствуют истинным, а при развитых пластических деформациях для расчета истинных значений σ и ε (таб. 2) используют следующие зависимости:

$$\sigma = \sigma_y(1 + \varepsilon_y) \quad (4)$$

$$\varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_y) \quad (5)$$

где ε_y – условная (измеренная в ходе стандартных испытаний) деформация материала, σ_y – условное напряжение.

3. Результаты и обсуждение

В среде ANSYS Workbench график напряжение-деформация, описывающий линейное поведение

материала (Рис. 1) в процессе деформирования может быть задан с помощью APDL-команд. В данном случае для определения линейных свойств материала использована команда PREP7 (рис. 4). Активация таблицы ввода данных для свойств материала выполнена посредством функции Uniaxial – определяющей возможность задания пользователем одноосного напряжения и деформации, и связанной в среде ANSYS непосредственно с моделью материала «Cast iron» из стандартной библиотеки материалов General Materials.

Также было проведено моделирование для других сочетаний коэффициента Пуассона: 0,15;0,45; 0,3;0,3; 0,1;0,45 (Рис. 4). Как видно из рисунка 4 наибольшее влияние оказывает значение коэффициента Пуассона на участке упругого вдавливания. Однако на данном участке для широкого круга чугунов его значение в действительности меняется в диапазоне 0,25-0,32. Поэтому очевидно, что его значение не будет в значительной мере менять ход диаграммы индентирования. В этой связи было принято решение перейти к расчетам с постоянным усредненным значением коэффициента Пуассона 0,3 и использовать модель Перзона.

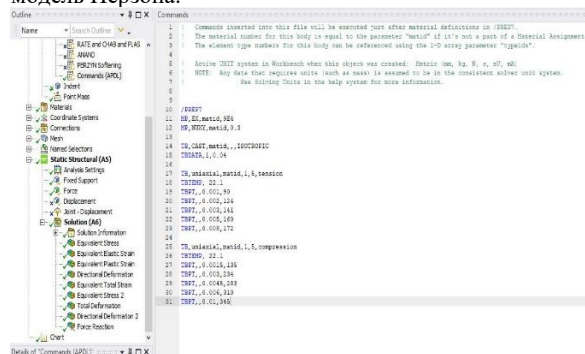


Рис. 3. Пример задания с помощью APDL-команд в ANSYS Mechanical для модели чугуна различными кривыми растяжения и сжатия ($E=90$ ГПа, $\nu_1=0,3$ и $\nu_2=0,04$)

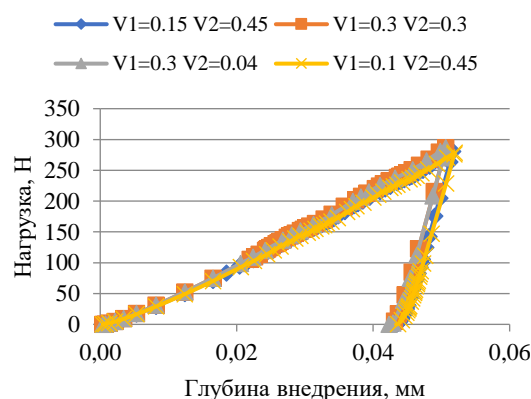
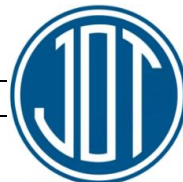


Рис. 4. Диаграмма деформирования чугуна с различными значениями коэффициента Пуассона в упругой и пластической области жестким индентором с предупредной скоростью 1,88м/с

В среде ANSYS Mechanical пластическое поведение материала учитывается путем описания его нелинейной моделью (моделью с мультилинейным упрочнением). Подобная модель предполагает задание таблицы



значений истинных пластических деформаций и соответствующих напряжений. Поэтому начальной точкой любой нелинейной модели материала будет точка с нулевой пластической деформацией и напряжением равным пределу его текучести. Однако в данном случае для корректного задания диаграммы «напряжение-деформация» необходимо также исключить из истинных значений деформации ее упругую составляющую, которая может быть рассчитана согласно уравнению (1) как отношение истинного напряжения к модулю упругости σ/E .

В таблице 1 приведен пример полученных согласно формулам (1) – (5) значений условных и истинных деформаций и напряжений (столбцы 1-4 таблицы 1), а также численных значений пластической деформации, задаваемых при моделировании нагружения материала с модулем упругости 200 ГПа, пределом текучести 100 МПа и коэффициентом деформационного упрочнения 0,25, что близко к параметрам высокопрочного легированного чугуна. Для указанных параметров материала рассчитанный согласно формуле (3) коэффициент $K=668,74 \cdot 10^6$.

Таблица 1

Пример задания численных значений, описывающих модель высокопрочного легированного чугуна мультимодулем упрочнением

| Условная деформация ϵ_y , мм/мм | Условное напряжение σ_y , МПа | Истинная деформация ϵ , мм/мм | Истинное напряжение σ , МПа | Пластическая деформация, мм/мм |
|--|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| 0,0005 | 100,00 | 0,000500 | 100,05 | 0 |
| 0,0010 | 118,92 | 0,001000 | 119,04 | 0,000404 |
| 0,0020 | 141,42 | 0,001998 | 141,70 | 0,001289 |
| 0,0040 | 168,18 | 0,003992 | 168,85 | 0,003148 |
| 0,0080 | 200,00 | 0,007968 | 201,60 | 0,006960 |

В среде ANSYS Workbench график напряжение-деформация, описывающий линейное поведение материала в области малых деформаций и задающий модель его кинематического упрочнения в упругопластической зоне был задан с помощью APDL-команд (рис.5), описывающих модель упругопластического материала – модель Перзона (Perzyna)).

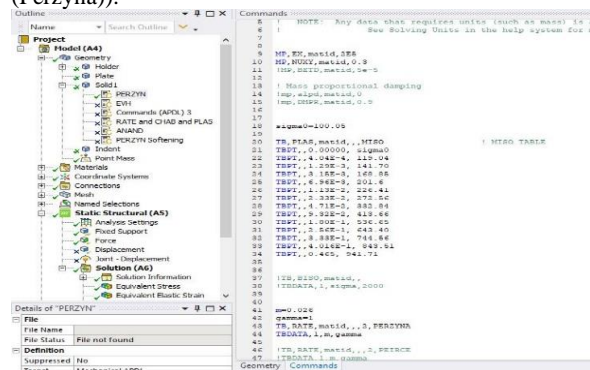


Рис. 5. Пример задания с помощью APDL-команд в ANSYS Mechanical кинематической модели упрочнения конструкционной стали с коэффициентом Пуассона 0,3, $E=200$ ГПа, $\sigma_t=100$ МПа

Для оценки адекватности данной модели и проведения вычислительных экспериментов использовались кривые растяжения для двух материалов, высокопрочного (ВЧ) и серого (СЧ) чугуна (рис.5), обладающих одинаковым пределом прочности (около 350 МПа), но различным модулем упругости и удлинением при разрыве (таблица 2).

Таблица 2

| Параметры материалов | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Материал | Предел прочности, МПа | Предел текучести, МПа | Модуль упругости, ГПа | Относительное удлинение при разрыве, % |
| ВЧ | 350 | 220 | 170 | 3 |
| СЧ | 350 | 150 | 140 | 22 |

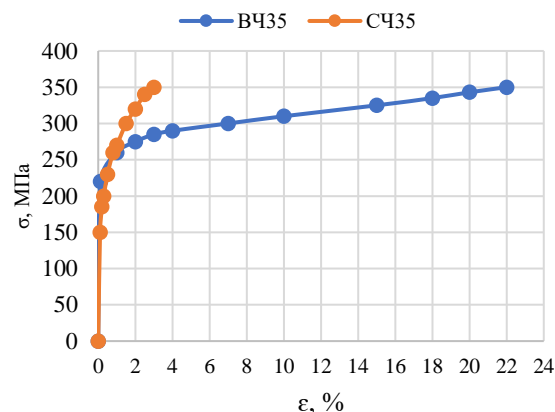


Рис. 6. Диаграммы растяжения для высокопрочного и серого чугунов

Как видно из рисунков 7 и 8 изменение хода диаграмм в зависимости от значения коэффициента Пуассона незначительно. Гораздо больший эффект имеет режим нагружения – динамический или статический, а также предупредная скорость.

- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,3; статическое нагружение $P \sim 3$ м/с
- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,3; 3м/с
- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,1; 3м/с
- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,1; статическое нагружение $P \sim 3$ м/с
- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,3; 1,5 м/с
- ВЧ35 коэфф. Пуассона 0,3; статическое нагружение $P \sim 1,5$ м/с

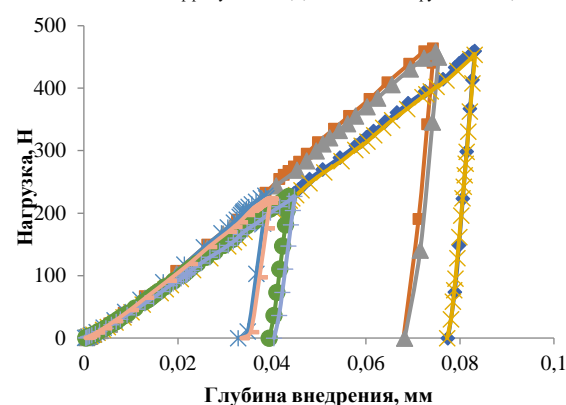


Рис. 7. Диаграммы нагружения для высокопрочного чугуна

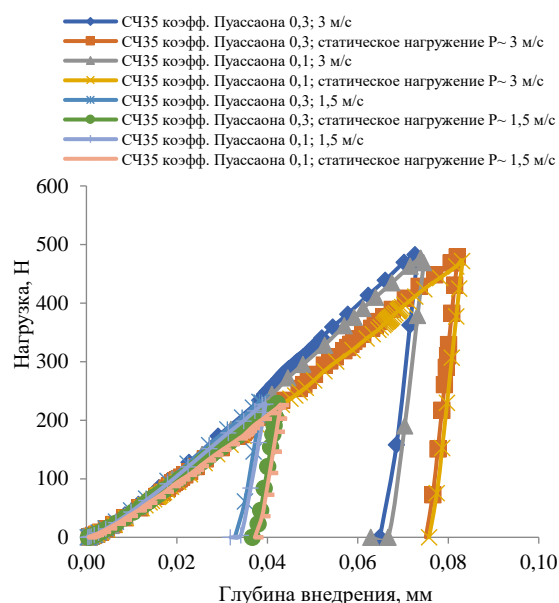


Рис. 8. Диаграммы нагружения для серого чугуна

Как видно из рисунков 7 и 8 изменение хода диаграмм в зависимости от значения коэффициента Пуассона незначительно. Гораздо больший эффект имеет режим нагружения – динамический или статический, а также предударная скорость.

Таблица 3

Результаты расчета твердости

| Образец | Коэффициент Пуассона | Предударная скорость V, м/с | | Значения силы, соответствующие, силе при ударном внедрении, Н | |
|---------|----------------------|-----------------------------|------|---|------|
| | | 3,0 | 1,5 | 480 | 225 |
| | | Динамическая твердость, МПа | | Статическая твердость, МПа | |
| ВЧ | 0,3 | 1191 | 1131 | 907 | 864 |
| | 0,1 | 1185 | 1126 | 920 | 864 |
| СЧ | 0,3 | 1283 | 1210 | 1084 | 1074 |
| | 0,1 | 1283 | 1197 | 1068 | 1060 |

В таблице 3 представлены результаты расчета твердости для данных материалов, который проводился на основании анализа напряженно-деформированного состояния под индентором, с определением контактного диаметра, непосредственно по данным моделирования (рис. 9).

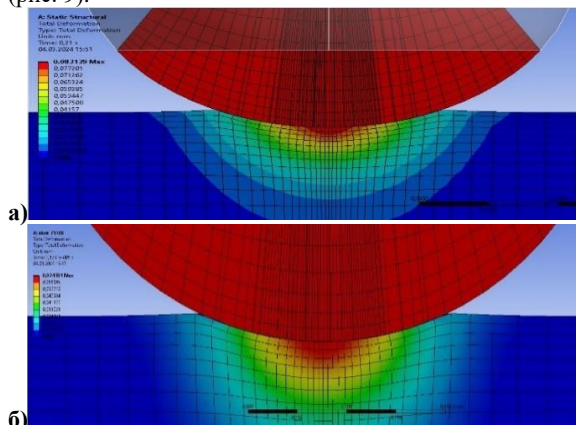


Рис. 9. Напряженно деформированное состояние под индентором при нагружении чугуна ВЧ35 с коэффициентом Пуассона 0,3 в статическом режиме (а) и ударном внедрении индентора (б) со предударной скоростью 3,0 м/с

4. Заключение

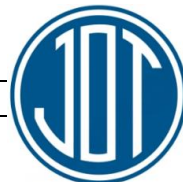
Проведенные вычислительные эксперименты позволяют сделать следующие:

Коэффициент Пуассона незначительно влияет на процесс ударного деформирования, как для модели, учитывающей различное поведение чугуна при растяжении и сжатии (с учетом резкого изменения коэффициента Пуассона в пластической области деформирования), так и для принятой для дальнейших расчетов модели Перзона.

Модель Перзона достаточно точно описывает поведение материала при статическом и ударном нагружении с предударной скоростью до 3 м/с. Она учитывает повышение твердости при увеличении скорости деформации. При этом коэффициент динамичности, рассчитанный как отношение динамической и статической твердости принимает значения от 1,13 для СЧ до 1,31 для ВЧ. Также можно отметить, что не смотря на одинаковое значение прочности для моделируемых чугунов значение твердости СЧ выше, что объясняется более резким переходом от упругой деформации к состоянию полной пластичности материала при индентировании

Использованная литература / References

- [1] Анисович А.Г., Андрушкевич А.А. Микроструктуры черных и цветных металлов. – Минск: Белорусская наука, 2015. – 131 с.
- [2] Johnson KL. Contact Mechanics. // Cambridge: Cambridge University Press. – 1985: – P. 448-452.
- [3] Boris Galanov, Sergei Ivanov, Valeriy Kartuzov. Improved core model of the indentation for the experimental determination // Mechanics of Materials, Volume 150. – November 2020, 103545.
- [4] Kren, A.P. Determination of the Strain-Hardening Exponent of a Metallic Material by Low-Speed Impact Indentation / A.P. Kren, V. A. Rudnitskii // Russian Metallurgy (Metally). – 2019. – №. 4. – P. 478–483. DOI: 10.1134/S0036029519040220.
- [5] Richmond O., Morrison H. L., Devenpeck M. L. Sphere indentation with application to the Brinell hardness test. – Internat. J. Mech. Sci., 1974, 16, p. 75.
- [6] Tursunov, Tokhir, Nodirjon Tursunov, and Talgat Urazbayev. "Investigation of heat exchange processes in the lining of induction furnaces." E3S Web of Conferences. Vol. 401. EDP Sciences, 2023.
- [7] Urazbayev, Talgat, Nodirjon Tursunov, and Tokhir Tursunov. "Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers." AIP Conference Proceedings. Vol. 3045. No. 1. AIP Publishing, 2024.
- [8] Mamaev, Sherali, et al. "Mathematical modeling of torsional vibrations of the wheel-motor unit of mains diesel locomotive UZTE16M." E3S Web of Conferences. Vol. 401. EDP Sciences, 2023.
- [9] Турсунов, Н. К. Оптимизация футеровки индукционных печей при выплавке стали марки 20ГЛ. Обзор / Н. К. Турсунов, Т. М. Турсунов, Т. Т. Уразбаев // Universum: технические науки. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 13–19.



[10] Турсунов, Н. К. Методика расчета комплексного раскисления стали марки 20ГЛ с алюминием и кальцием / Н. К. Турсунов, Т. Т. Уразбаев, Т. М. Турсунов, // Universum: технические науки. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 2–2 (95). – С. 20–25.

Информация об авторах/ Information about the authors

Турсунов Нодиржон Каюмжонович / Tursunov Nodirjon Kayumjonovich
Ташкентский государственный транспортный университет, профессор кафедры «Материаловедение и машиностроение», к.т.н.
E-mail: u_nadir@mail.ru
Тел.: +998990012371
<https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

Крень Александр Петрович / Kren Alexander Petrovich
«Белорусский институт прикладной физики», заведующий лабораторией контактно-динамических методов управления, профессор
E-mail: alekspk@mail.ru
Тел.: +375 29 762 3300
<https://orcid.org/0000-0001-9658-1003>

Турсунов Тохир Муратжонович / Tursunov Tokhir Muratjonovich
Ташкентский государственный транспортный университет, и.о. доцента кафедры «Материаловедение и машиностроение», PhD
E-mail: t.tursunov87@gmail.com
Тел.: +998974000426
<https://orcid.org/0000-0002-6834-7356>

Уразбаев Талгат Тилеубаевич / Urazbaev Talgat Tileubaeovich
Ташкентский государственный транспортный университет, и.о. доцента кафедры «Материаловедение и машиностроение», PhD
E-mail: talgat_1988.26@mail.ru
Тел.: +998974301088
<https://orcid.org/0009-0006-1808-489X>

Мамаев Шерали Иброхимович / Mamaev Sherali Ibrokhimovich
Ташкентский государственный транспортный университет, и.о. профессора кафедры «Материаловедение и машиностроение», PhD
E-mail: mamayevsherali@gmail.com
Тел.: +998909687427
<https://orcid.org/0009-0002-6073-747X>

Рахимов Учкин Тошнйёз угли / Rakhimov Uchkun Toshniyoz ugli
Ташкентский государственный транспортный университет, докторант кафедры «Материаловедение и машиностроение»
E-mail: uchqun.raximov.1991@mail.ru
Тел.: +998939955691
<https://orcid.org/0009-0001-9819-5314>

Бахтиёров Жасурбек Баходир угли / Bakhtiyorov Jasurbek Bakhodir ugli
Ташкентский государственный транспортный университет, студент
E-mail: jasurbekbax2@gmail.com



**N. Tursunov, A. Kren, T. Tursunov, T. Urazbaev,
Sh. Mamaev, U. Rakhimov, J. Bakhtiyorov**

Basics of developing a model of deformation of elastic-plastic

half-space of cast iron.....181

G. Khojimatova

*Research of the architectural face of the roads of the modern city of
Andijan.....187*

S. Akhmedov

*Development of the general technology of piggyback
transportation.....192*

M. Mahsudov

*Scientific approach to assessing the business stability of industrial
enterprises.....198*

J. Juraev, A. Azizov

*Analysis of the algorithm for the operation of anti-repetition,
auxiliary final and intermediate relays in the dialing group blocks
NM2P and NM2AP, which control two combined shunting traffic
lights of the railway automation and telemechanics system.....201*

I. Siddikov, S. Azamov

*Research on the reactive power consumption of an asynchronous
motor powered by energy generated by solar panels.....205*