

вания в пункт прибытия принимающей страны, покрываемые либо приглашаемым учреждением или приглашающим учреждением, по взаимному согласию на индивидуальной основе.

- 2) Приглашающее учреждение покрывает командировочные расходы иностранных представителей из пункта прибытия в принимающей стране.
- 3) Обеспечивает медицинское и другое необходимое страхование.
- 4) Обеспечивает возможности для научных поездок (конференции, другие учреждения), связанные с проектной деятельностью.

Х. Соответствующее учреждение (i) содействует подбору, включению в заявку и обмену аспирантами-соискателями степени кандидата наук и кандидатами наук-соискателями степени доктора наук для получения возможностей образования и проведения исследований в другой стра-

не; (ii) в случае необходимости организует изучение другого (иностранного) языка; и (iii) приглашает отобранных членов факультета для чтения лекций.

XI. По взаимному согласию стороны могут вносить поправки в настоящее Соглашение. Все поправки и дополнения должны составляться в письменном виде и подписываться соответствующим представителем(ми) учреждения.

XII. Настоящее Соглашение действует в течение двух лет и вступает в силу 1 января 2008 г.

XIII. Настоящее Соглашение может быть продлено на последующие два года, если все стороны в письменном виде за три месяца до истечения срока выразят свое согласие на продолжение сотрудничества.

Подписи участников: Ю.Н. Горностырев, В.Н. Урцев, В.М. Колокольцев, В.В. Устинов, А.И. Лихтенштейн, М.И. Кацнельсон, Б. Йоханссон.

Библиографический список

1. Рашников В.Ф., Морозов А.А., Урцев В.Н., Горностырев Ю.Н. Фундаментальная наука и металлургическое предприятие – стратегический альянс для инновационного развития // Сталь. 2005. № 5. С. 117–119.
2. Морозов А.А., Тахаутдинов Р.С., Урцев В.Н., Платов С.И. Фундаментальные научные исследования как элемент стратегии технического развития металлургического предприятия // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2004. № 3 (7). С. 28–30.
3. Рашников В.Ф., Морозов А.А., Урцев В.Н., Горностырев Ю.Н. Квантовое материаловедение стали // Сталь. 2007. № 2. С. 14–106.

УДК621.778.014-426:620.172.242

Чукин М.В., Гун Г.С., Барышников М.П., Валиев Р.З., Рааб Г.И.

ОСОБЕННОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОСТАЛЕЙ*

Для проектирования технологических процессов получения изделий с использованием процессов обработки давлением необходимы научные знания о поведении материалов при приложении внешней нагрузки. Теоретическое описание такого поведения наноструктурных сталей осуществляется путем построения реологических моделей. Реологические модели строятся на основе идеализации истинных диаграмм сжатия и диаграмм деформирования с учетом эффектов, сопровождающих пластическую де-

формацию и наиболее существенных свойств деформируемой среды. В связи с этим целью настоящих исследований является определение сопротивления деформации при испытаниях на сжатие Стали 20 и Стали 45 в исходном состоянии и после равноканального углового прессования (РКУП) в зависимости от степени и скорости деформации, а также вывод обобщенного уравнения состояния для данных материалов. Выбор этих марок стали объясняется их широким использованием для производства различных метизных изделий с применением процессов волочения, высадки и др.

Пластометрические исследования проводили при температуре 20°C на цилиндрических образцах с исходным диаметром 6 мм и высотой 9 мм. Образцы для испытаний изготавливались из центральных областей осесимметричных заготовок

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» по направлению «Конструкционные стали с ультрамелкодисперсной и наноструктурой, методы их получения и обработки» (контракт № 02.513.11.3196).

токарной обработкой. Для достижения однородного напряженно-деформированного состояния в процессе осадки использовали полировку и смазку контактных поверхностей. Статистическая достоверность результатов эксперимента достигалась проведением не менее трех параллельных испытаний для каждого значения скорости и степени деформации с фиксацией (расчетом) текущих значений степени деформации и сопротивления деформации. Число фиксируемых во времени испытаний пар значений $\varepsilon_i - \sigma_i$ равнялось 10-ти вне зависимости от величины предельной деформации. Оценку однородности напряженно-деформированного состояния (НДС) осуществляли качественно по графикам распределения скорости деформации в зависимости от степени деформации для каждого испытываемого образца. В связи с достаточно высокими степенями деформации диаграммы деформирования строили без учета упругости. Деформационный предел прочности определяли как максимальную степень относительной деформации, при которой происходит разрушение образца (появление радиальных трещин), фиксируемых визуально.

Сопоставление полей экспериментальных точек деформационного упрочнения образцов из Стали 20 (находящейся в исходном состоянии), а также Стали 20 с объемной наноструктурой иллюстрирует **рис. 1**.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что после процесса РКУП наиболее существенное упрочнение наноструктурных низкоуглеродистых сталей наблюдается в диапазоне от 10 до 30% степеней деформации. По сравнению со Сталью 20, находящейся в исходном состоянии, максимальное значение прироста сопротивления деформации наностали 20 наблюдается при степени деформации 15–17% и составляет 150–200 МПа, что в относительном выражении составляет 22–27%.

При более высоких степенях деформации (за счет видимых процессов разупрочнения низкоуглеродистых наносталей) разница в величинах σ_s нивелируется и достигает для степени деформации 50% всего 12–14%, а на предельных степенях деформации (около 70%) – 8–9%. При этом для рассматри-

ваемой марки стали после РКУП наблюдается 5–7% увеличение пластических свойств (сравнение производилось по величинам деформационного предела прочности).

Поэтому при проектировании технологий волочения и калибрования низкоуглеродистых наносталей в аспекте получения эффекта наибольшего упрочнения (для готовой проволоки) при расчете маршрута обработки степень деформации на завершающих переходах необходимо ограничивать до 20–30%. В то же время промежуточные переходы можно рассчитывать из условия достижения максимальной степени деформации, не превышающей 76%.

На **рис. 2** представлены аппроксимирующие и расчетные кривые деформационного упрочнения для наностали 20 и Стали 20, находящейся в исходном состоянии, построенные по реологическим моделям.

Как следует из приведенных зависимостей, статистические модели адекватно отражают характер изменения значений сопротивления деформации в зависимости от степени относительной деформации и могут быть использованы при расчетах маршрутов волочения (калибрования) проволоки.

Следующим этапом исследований явилось сравнение реологических свойств среднеуглеродистых сталей, типичным представителем которых является Сталь 45. На **рис. 3** приводится сопоставление полей экспериментальных точек

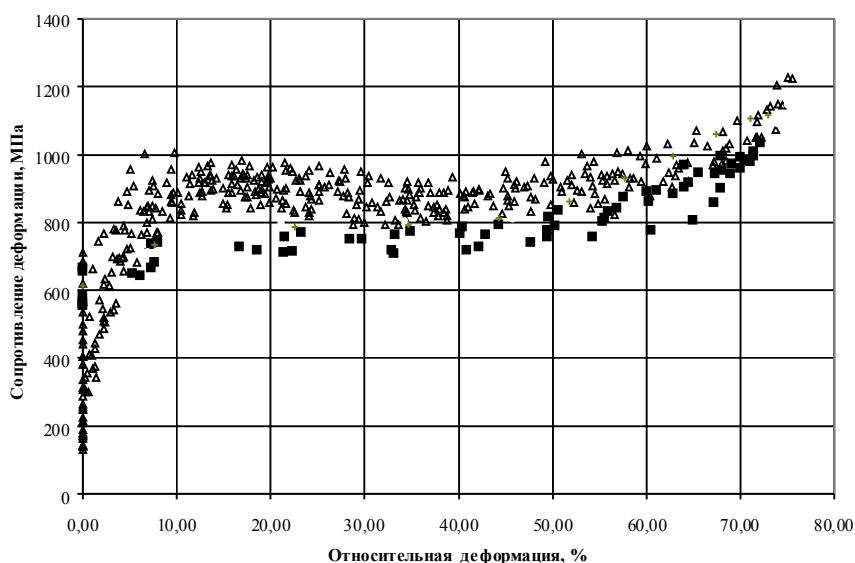


Рис. 1. Поля экспериментальных значений зависимости сопротивления деформации от степени деформации для наноструктурной Стали 20 после РКУП с предварительным улучшением (светлые треугольники) и Стали 20, находящейся в исходном состоянии (темные квадраты)

деформационного упрочнения образцов из Стали 45, находящейся в исходном состоянии, а также Стали 45 с объемной наноструктурой.

Характер полученных кривых свидетельствует, что после процесса РКУП наиболее существенное упрочнение наноструктурных среднеуглеродистых сталей наблюдается в диапазоне от 15 до 30% степеней деформации. Однако в отличие от низкоуглеродистых сталей максимальное значение прироста сопротивления деформации (наблюдаемое при степени деформации также 15–17%) всего 50–80 МПа, что в относительном выражении составляет менее 6%.

При более высоких степенях деформации разница в величинах σ_s между материалами с традиционной и наноструктурой для данных марок стали находится в диапазоне 3–4% и сохраняется до предельных значений степеней деформации (деформационного предела прочности). Модули упрочнения при этом отличаются также незначительно, а именно: 1,03 – для наностали 45 и 1,08 – для Стали 45 с традиционной структурой (до степени деформации 55%), а также 1,53 – для наностали 45 и 1,48 – для Стали 45 с традиционной структурой (со степени деформации 55% до

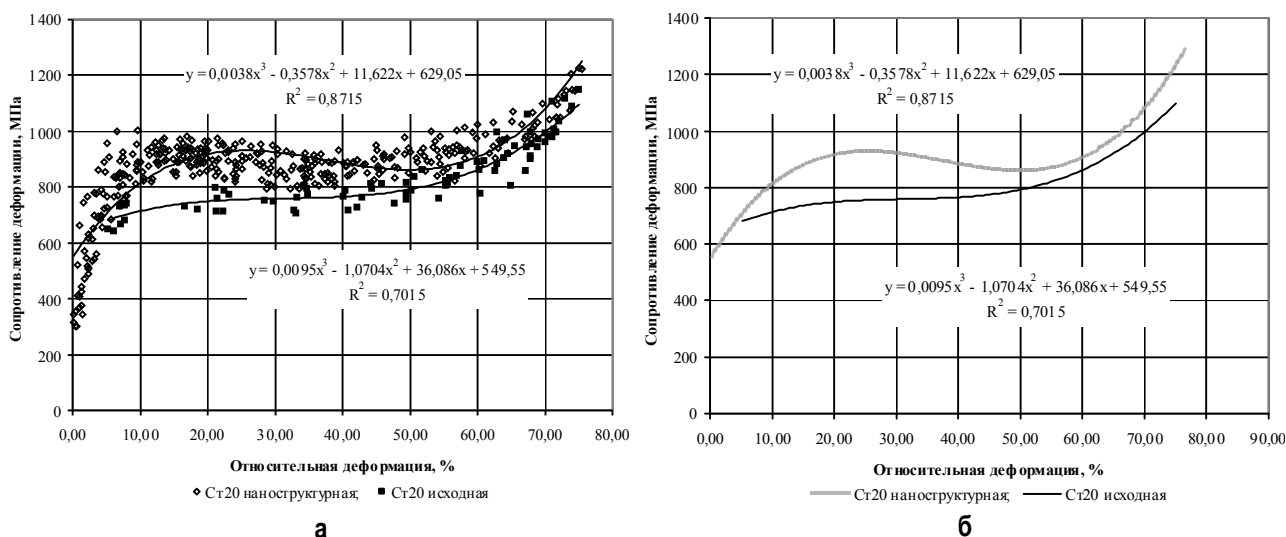


Рис. 2. Аппроксимирующие (а) и теоретические (б) кривые зависимости сопротивления деформации от степени деформации для наноструктурной стали 20 после РКУП с предварительным улучшением (светлые треугольники) и Стали 20, находящейся в исходном состоянии (темные квадраты)

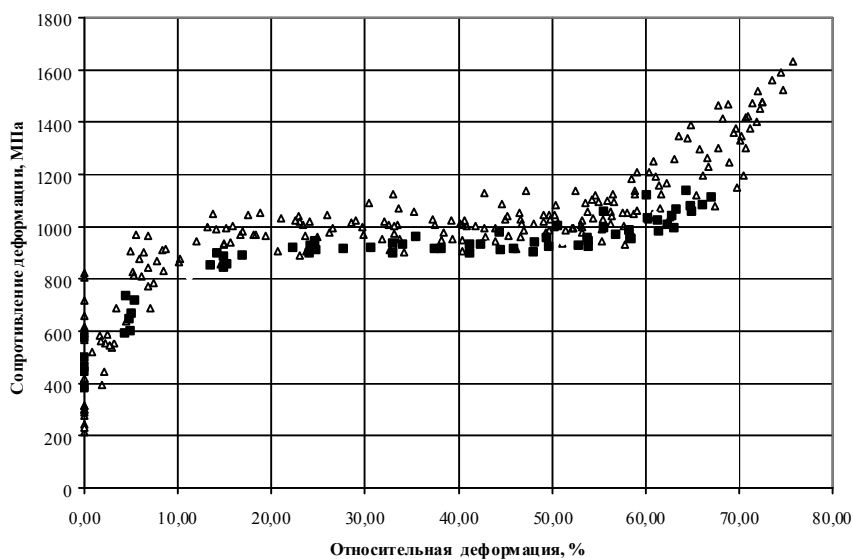


Рис. 3. Поля экспериментальных значений зависимости сопротивления деформации от степени деформации для наноструктурной стали 45 после РКУП с предварительным улучшением (светлые треугольники) и Стали 45, находящейся в исходном состоянии (темные квадраты)

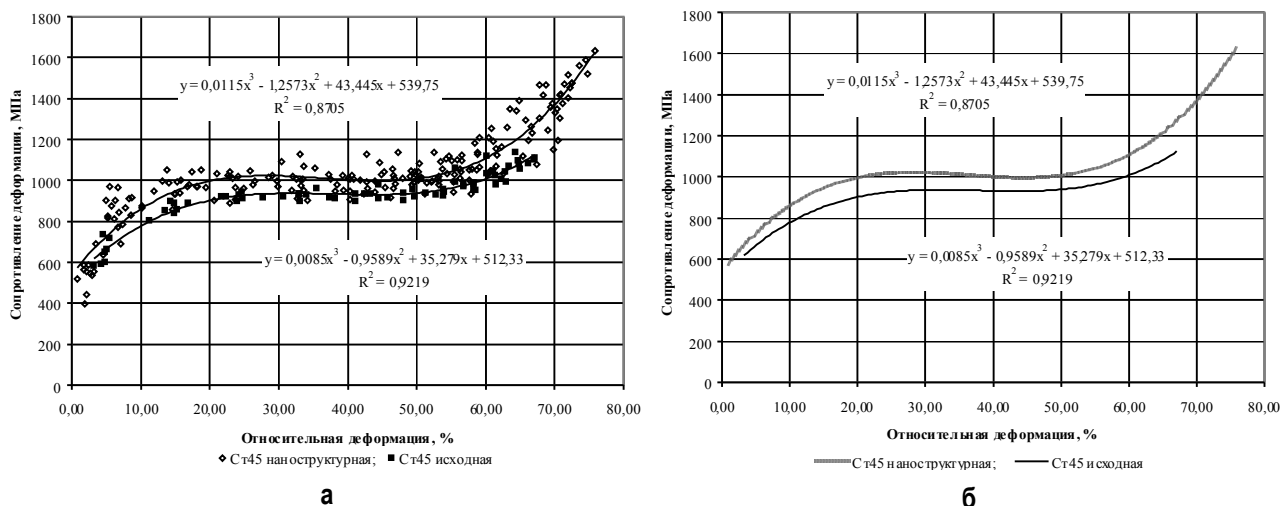


Рис. 4. Аппроксимирующие (а) и теоретические (б) кривые зависимости сопротивления деформации от степени деформации для наноструктурной стали 45 после РКУП с предварительным улучшением (светлые треугольники) и Стали 45, находящейся в исходном состоянии (темные квадраты)

деформационного предела прочности). Такой характер изменения реологических свойств хорошо иллюстрирует рис. 4, где представлены аппроксимирующие и расчетные кривые деформационного упрочнения для наностали 45 и Стали 45, находящейся в исходном состоянии, построенные по реологическим моделям.

Одним из важнейших аспектов поведения рассматриваемых материалов является существенное увеличение значений деформационного предела прочности (с 63 до 74%), что в относительном выражении составляет более 17%. Из полученных зависимостей следует, что при проектировании технологий волочения и калибрования Стали 45 с объемной наноструктурой в аспекте получения эффекта наибольшего упрочнения (для готовой проволоки) снимается ограни-

чение 20–30% степени деформации (что характерно для наностали 20). Кроме того, процесс обработки давлением можно рассчитывать до суммарной деформации, не превышающей деформационный предел прочности 74%.

Таким образом, полнота и статистически подтвержденная достоверность научных знаний, полученных в ходе проведения исследований, позволяет перейти к следующему (наиболее важному в прикладном и инновационном аспекте) этапу, а именно пооперационной разработке технологических режимов процесса волочения наноструктурных сталей, расчетов маршрута и дробности волочения, а также исследованиям деформационной неоднородности материалов с наноструктурой в реальных процессах обработки материалов давлением.

УДК 622.7/ 628.3

Шадрунова И.В., Орехова Н.Н.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ

Истощение традиционной сырьевой базы горнодобывающих предприятий, рост цен на медь, ужесточение экологической политики государства, дефицит водных ресурсов приводит к необходимости вовлечения в переработку гидроминерального сырья – техногенных стоков.

Экологический мониторинг состояния стоков промышленных предприятий на территории Южного Урала, проведенный лабораторией «Комплексного освоения техногенных месторождений» ИТЦ ГОУ ВПО «МГТУ» показал, что содержание цветных и редких металлов в техно-