



Слагаемые качества современных сталей

А.В. Кудря

д.т.н., профессор НИТУ «МИСиС»; Москва

e-mail: AVKudrya@misis.ru

Э.А. Соколовская

к.т.н., доцент НИТУ «МИСиС»; Москва

Аннотация. Оценены факторы качества сталей в рамках современного металлургического производства. Проанализированы перспективы использования информационных технологий для повышения однородности качества металла и сопутствующие этому изменения в подготовке кадров высшей квалификации.

Ключевые слова: качество стали, информационные технологии в металловедении и металлургии, подготовка кадров высшей квалификации.

Введение

Канонические схемы сквозного управления качеством (TQM) предполагают, что технологический процесс по всему циклу может быть стабильным, и в таком случае полнота свода инструкций и работа с персоналом гарантирует их реализацию. Однако в металлургии качество варьируется в результате технологической наследственности (различные сценарии эволюции структур металла и дефектов по протяженной технологической цепочке в пределах широкого поля допуска технологии) [1]. Это приводит к развитой неоднородности структур в конечной металлопродукции, и, как следствие, к широкому разбросу свойств металла и снижению его конкурентоспособности. Разнообразие механизмов технологической наследственности диктует необходимость разработки гибких управленческих решений, учитывающих возможный спектр сценариев развития событий. Их разработка невозможна без выявления структурных причин колебаний качества. Для этого, однако, недостаточно получивших широкое распространение на практике качественных приемов оценки неоднородности структур, они не обеспечивают необходимой глубины понимания природы прочности, пластичности и вязкости разнообразных структур.

В этой связи перспективно использование информационных технологий в металлургии [2, 3]. Они могут обеспечить повышение качества металлопродукции, когда традиционные подходы не дают результата. Важность этого становится особенно явной, если учесть масштабы жизненного цикла металлургических технологий (до 10–15 лет

и более) и сопутствующего нарастания степени их разбалансировки во времени.

Применение ИТ в металлургии не ограничивается только использованием современных программных продуктов. Это также развитие цифровых средств и методов оценки разнообразных структур и свойств, углубление на этой основе представлений о роли различных структур в формировании неоднородности качества металлопродукции (например, [4]), что является объективной основой для выработки оптимальных управленческих воздействий. Решение такого рода задач требует внесения качественных изменений в подготовку кадров высшей квалификации. Это те составляющие усилий, которые могут обеспечить повышение однородности качества современных сталей в рамках действующих технологий, конкурентоспособности отечественной металлопродукции в целом.

Особенности технологического процесса производства стали

Отличительная особенность производственного процесса в металлургии – протяженная технологическая цепочка. Число операций в ней обычно определяется назначением продукта. Их характеризуют компоненты состава, показатели плавки, раскисления и разливки, переплава (при его наличии), температуры и величины обжатий в клетях либо температурно-временные параметрыковки, термической обработки (когда она завершает технологический цикл). Значения параметров, измеряемые в рамках каждой технологической операции, в основе своей управляемы и вместе составляют от 100 параметров процесса и более [5]. Обычно все они регистрируются в реальном времени, фиксируются в паспортах технологических процессов или в электронном информационном архиве предприятия [6, 7].

Качество продукта характеризуют от 10 выходных параметров и более (механические свойства, структура и излом), нормативными документами им задан уровень ограничений (сверху или снизу). При необходимости технологическая цепочка может быть достаточно быстро дооснащена средствами измерения и сбора информации (в том числе и продукта).

В действующей технологии для каждой партии продукта измеряют значения отдельных параметров процесса (плавки, садки, рулона, поковки) в рамках нормативных пределов, которые составляют поле допуска производственного процесса. Для отдельной партии совокупность фактических

значений параметров процесса представляет собой траекторию технологии (каждая из них обеспечивает свой набор показателей качества). Пучок траекторий, даже в рамках достаточно хорошо отлаженной технологии, настолько широк, что в течение нескольких лет наблюдений можно не встретить две идентичные траектории процесса.

В действующей технологии обычно все траектории (для всех партий) по всем параметрам укладываются в разрешенную полосу (рис. 1). Однако вследствие неблагоприятного протекания сценариев технологической наследственности часть партий выходит за допустимый уровень одного или нескольких параметров качества, это приводит к снижению категории качества продукции (отсортировке или отбраковке), дополнительным затратам на обработку.

Такие издержки не всегда удается исключить внесением изменений в технологию, радикальная перестройка которой обычно проводится через значительные промежутки времени, обычно, когда приближается физический износ оборудования. При наступлении же морального износа производство смещается в менее требовательный сегмент рынка (рядовой металл и заготовка для передела), где главным становится повышение «выхода годного» при неизменных нормах и гарантиях качества.

Попытки управления по возмущению (даже при всей кажущейся очевидности отрицательной роли таких факторов), как правило, не приводят к ожидаемому результату, например при снижении загрязненности серой листовой стали в 4 раза разброс значений сдаточных свойств остался практически неизменным [8]. Однако всегда остается риск получить непрогнозируемые последствия от «очевидной», на первый взгляд, коррекции производственного процесса. Например, таких как появление нежелательных аномалий разрушения в сдаточных пробах на

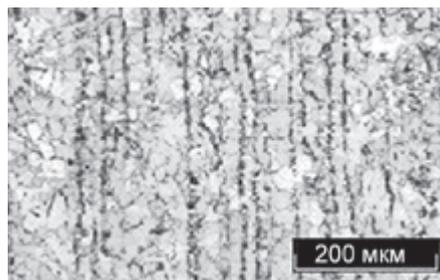


Рис. 2. Пример неоднородной структуры – феррито-перлитная полосчатость в листе из стали 09Г2С

излом при аттестации качества крупных поковок [9], в связи со снижением содержания серы и повышением дисперсности сульфидов после включения в технологическую цепочку инновационного электрошлакового переплава.

Выполнение каждой из норм качества определяется не отдельными переделами, а их совокупностью вследствие многообразия механизмов эволюции структур и дефектов в ходе выполнения протяженной технологической цепочки, что приводит к структурной неоднородности в конечном металле (рис. 2) [8]. В этом заключается причина существенного разброса свойств и – нередко – появления внезапных «вспышек» брака (когда технология в пределах нормы). Отсутствие гарантий качества стали снижает ее конкурентоспособность.

Выбор оптимальной стратегии и тактики управления невозможен в таком случае без анализа структурных причин провалов прочности, пластичности и вязкости.

Однако во многих нормативных документах требования к микро- и макроструктуре, загрязненности стали включениями и т.д. регламентируются эталонными шкалами («формы частиц», величины зерна и т.д.). Соответствие этому опознается визуально, что усложняет оценку влияния неоднородности структуры на свойства, затрудняет формулировку критериев допустимой

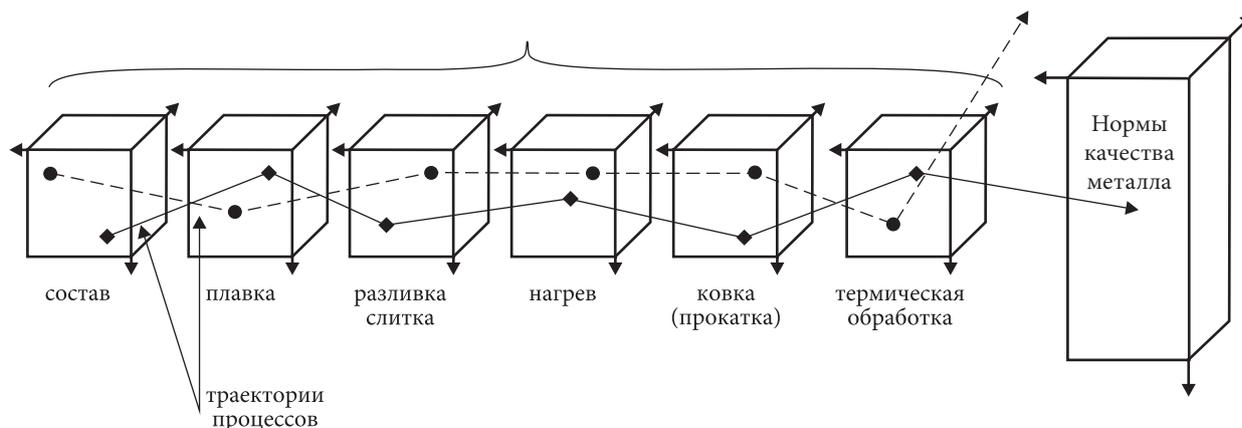


Рис. 1. Происхождение неоднородности качества металлопродукции в рамках директивной технологии



неоднородности структур для заданного уровня качества металла.

Поскольку контроль металлопродукции, как правило, производится на основе механических (разрушающих) испытаний, то для определения причин неоднородности свойств стали необходимо понимать механизмы разрушения разнообразных микроструктур, исходя из измеряемой статистики ее геометрии. Из-за быстроты распространения трещины фактически наблюдаем только конечный результат – поверхность разрушения (излом). Однако их анализ также преимущественно качественный.

Аномалии структуры и сопутствующая им неоднородность разрушения появляются от неблагоприятного сочетания порознь приемлемых, но взаимодействующих отклонений от нормы на разных этапах технологии. Металлургия достаточно хорошо оснащена средствами измерения и сбора информации по всей технологической цепочке. С учетом серийного характера выпуска широкой номенклатуры однородной продукции за сравнительно небольшой период времени на предприятиях накапливаются большие объемы данных производственного контроля процесса и продукта. Это позволяет выполнить их ретроспективную статистическую обработку для выявления дальних взаимосвязей между колебаниями управляющих параметров и сопутствующими изменениями сдаточных свойств и выработать на этой основе алгоритмы объективного управления качеством металла.

Разработки цифровых средств измерений и контроля, современные программные продукты, рост доступных вычислительных мощностей – все это, вместе взятое, именуется информационными технологиями (ИТ). Они обеспечивают получение новых рычагов управления качеством металлопродукции на основе более глубокого понимания природы прочности, пластичности и вязкости.

Измерение структур и изломов

Объективность их оценки достигается заменой существующей процедуры сравнения с эталоном (картинкой) прямыми измерениями их изображений. Это стало доступным благодаря появлению средств цифровой регистрации изображений, росту вычислительных мощностей и созданию (выпускники МИСиС Н.Г. Чурсин и Г.В. Пантелеев) пакета быстродействующих программ *Image Expert Pro* для обработки результатов измерений геометрии элементов изображений [10].

Расширение сферы применения разнообразных средств наблюдений и измерений, появление но-

вых программных продуктов для обработки изображений в материаловедении сделало актуальной проблему воспроизводимости и сопоставимости получаемых результатов. В связи с этим в университете получили развитие вопросы, связанные с метрологическим обеспечением такого рода компьютеризированных процедур [11].

Важную роль при этом, как оказалось, играет масштаб накопленной статистики измерений геометрии структур (изломов), когда минимально необходимая площадь просмотренных полей зрения в микроскопе может обеспечить воспроизводимость получаемых результатов. Так, например, при анализе геометрии рисунка литой структуры конструкционной стали было показано, что такая площадь (суммарных полей зрения) может превышать габариты сечения стандартного ударного образца. Это означает, что при меньшей площади анализируемой панорамы изображения структуры возможна значительная вариация числовых значений ее характеристик. Такая степень развитости неоднородности структуры объясняет возможную причину часто наблюдаемого разброса значений ударной вязкости от образца к образцу в рамках одной единицы продукции, например по сечению поковок с сохранившейся литой структурой [3, 9].

Чтобы оценить значимость найденных различий и принять решение, всю статистику измерений структур в конце необходимо свернуть в несколько чисел: параметры распределения, их ошибки воспроизводимости, показатель согласия с моделью [12]. Обычно это трудно формализуемая процедура, эффективность которой определяется глубиной понимания явлений и процессов, наличием необходимых средств наблюдения и измерения, опытом проведения такого рода работ.

По «виду излома» (например, рис. 3 [8]) в большинстве случаев можно оценить качество материала при входном и сдаточном контроле, при освоении и сопровождении технологий производства и обработки материалов, при экспертизе брака и преждевременного разрушения [12, 13]. Однако не всегда учитывается, что трещина идет по самым «слабым» местам в структуре материала даже в том случае, когда сдаточные свойства соответствуют нормам качества. В этой связи измерение морфологии излома – практически единственная реальная возможность оценить механизмы разрушения разномасштабных структур сталей при выборе их оптимальной конфигурации, оценке степени реализации потенциала, заложенных в используемых составах сталей и технологиях их получения.

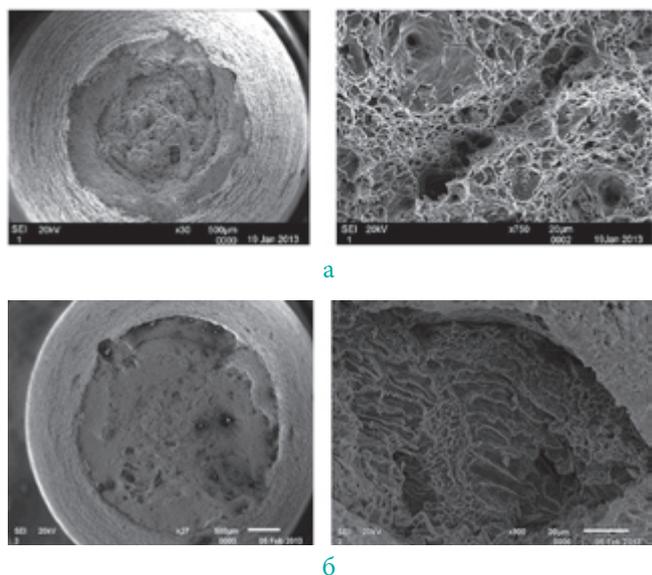


Рис. 3. Совместное влияние разномасштабных структур: строчек включений (а) и кластеров частиц (б) на самоорганизацию разрушения в «ослабленном слое» при испытании на растяжение образцов в третьем направлении, лист из сталей 09Г2С (а), 10ХСНД (б)

Полная реконструкция механизмов разрушения возможна только на основе синтеза результатов измерения топографии излома на трех масштабных уровнях: микро- (анализируются элементарные акты разрушения), мезо- (их слияние в очаги разрушения) и макро- (образование магистральной трещины).

Измерение изломов – достаточно трудоемкая процедура, которая стала возможной только в последнее время в связи с ростом вычислительных мощностей, появлением необходимых программных продуктов, средств измерения [12, 14, 15]. Для анализа мезостроения изломов, в частности в МИСиС, был разработан автоматический лазерный бесконтактный трехмерный профилограф, который вводит в компьютер трехмерную картину поверхности [16].

Получили развитие вычислительные средства объективной классификации изломов. Синтез рельефа из стереопар в сканирующей электронной микроскопии дал статистику геометрии для различных механизмов разрушения. Реализовано программное восстановление истории развития микротрещины из сопоставления ответных половин излома. На основе системного анализа строения изломов на разных масштабных уровнях измерения предложен широкий спектр методик количественного их описания для ранжировки материалов по вязкости [14, 15].

Измерение топографии рельефа позволяет внести в классификацию изломов количественные оценки. Основные источники информации

об изломе [12]: результаты синтеза 3D-картины из нескольких 2D-кадров (стереофотограмметрия); косвенный анализ 3D-особенностей по «плоским» снимкам (2D-кадрам). Для классификации изломов, с одной стороны, необходимо соответствующее разрешение (увеличение), с другой – представительный объем выборки, поэтому обоснование минимально необходимой площади просмотра – это обязательное условие как объективности фрактографического анализа, так и оптимизации времени его проведения. Последнее немаловажно для снижения себестоимости сдаточного контроля.

Полученные результаты показали, что следует достаточно осторожно подходить к использованию существующих критериев для оценки изломов. Так, например, оказалось [17], что при оценке хладноломкости нельзя ограничиваться, как это принято на практике, определением только доли хрупкой составляющей в изломах ударных образцов. Для более объективной оценки необходимо учитывать ее морфологию. В противном случае возможно получение противоречивых результатов.

Аналогичная ситуация сложилась в связи с длительными попытками использования для ранжировки изломов представления о фрактальной размерности D (как меры развитости поверхности) [18]. Наблюдаемую при этом противоречивость результатов (идентичным изломам отвечали различные значения D , а изломам различной природы – ее одинаковые величины) удалось объяснить только после накопления представительной статистики измерений геометрии строения рельефа с использованием разработанной техники и средств исследования изломов на разных масштабных уровнях. Причина, как оказалось, была в недостаточном объеме наблюдений из-за их трудоемкости [19]. Более того, из полученных результатов оказалось возможным сделать вывод о том, что излом не является фракталом.

Таким образом, корректное применение цифровой техники для обработки изображений структур и изломов требует обязательного учета особенностей конкретной задачи, наличия исходных гипотез о связи свойств со структурой, выбора оптимального набора стандартных процедур измерения – как изломов, так и структур. Только при таком подходе их совместный анализ позволит внести в измерение структур и изломов количественные меры, что крайне важно для объективного представления о механизмах эволюции структур и дефектов в ходе технологического процесса, выявления причин неодно-



родности качества и выработки на этой основе объективных приемов для управления им.

Ретроспективный анализ данных производственного контроля процесса и продукта

В том случае, когда из заводских архивов штатного контроля процесса (по переделам) и продукта для партий можно извлечь траектории процесса и соответствующий им набор показателей качества, «раскопки данных» (*data mining*) производственного контроля могут быть полезны для поиска зависимостей между колебаниями значений управляющих параметров и сдаточных характеристик [2, 20–22], сокращающих масштаб отсортировки (отбраковки) или повышающих средний уровень качества металлопродукции.

Результатом ретроспективного анализа может быть ограничение или смещение поля допуска для некоторых из управляющих параметров процесса, которое приведет к повышению однородности качества продукта (без изменения технологии по существу).

Ретроспективный анализ данных контроля процесса и продукта – это пассивный эксперимент в K -мерном пространстве параметров процесса, что много дешевле активного эксперимента [22]. Это сквозной анализ длинной последовательности технологических операций: от исходных материалов до конечного продукта. Его цели – непрерывное управление качеством, выявление узких мест производства. Практика работы с базами данных производственного контроля показала неэффективность классической статистики. Использование гипотез о виде распределений вызывает потерю информации, недостаток которой – исходно отличительная черта заводских архивов. В металлургии отсутствует единое поле параметров [1], и поле допуска обычно делится на несколько областей, где различны сами типы зависимости. Отсюда, в частности, неэффективность регрессии и контрольных карт Шухарта. В таком случае прогнозы целесообразно строить для каждой области отдельно, по небольшому числу важнейших в ней переменных. Подобласти с разным типом доминирующей зависимости находят либо разбиением многомерных пространств параметров по известному типу результата, либо проверяя гипотезы сложными эвристическими приемами когнитивной графики [1, 20, 21, 24].

Набор приемов когнитивной графики, в принципе, достаточно широк, по отдельности они не всегда являются чем-то новым (равносильно семи нотам музыкальной грамоты). Их использование основывается на том, что человек гораздо легче

опознает закономерность в рисунках, чем в табличной форме. Поэтому графическое представление информации всегда полезно, даже если не ожидается какой-либо зависимости [23].

Разделить группы риска и контрольные группы можно достаточно удовлетворительно с использованием критерия Смирнова, имеющего асимптотически наибольшую относительную эффективность [20, 24].

Алгоритмы управления

Использование таких процедур может быть эффективно при адаптивном управлении, когда желательно наименьшее вмешательство в процесс – на ограниченном числе операций с небольшими затратами. Это предполагает применение иной логики нелокального адаптивного управления: обнаружив «в реальном времени» потенциальный риск, воздействовать не на возмущающий фактор, а на последующие технологические операции для нейтрализации его последствия.

Такое выборочное ограничение поля допуска для «партий риска» становится предпочтительным, когда разрозненные системы управления по отдельным процессам или агрегатам объединены в интегрированную систему сквозного управления процессами и производством. Это представляет особый интерес в связи с внедрением на металлургических предприятиях корпоративных информационных систем [7, 8].

Для такого управления в реальном времени ретроспективный анализ должен в конечном итоге дать таблицу автоматически выполняемых решающих правил вида «если – то»: если процесс зашел в зону риска типа А, то продолжать его надлежит с ограничениями, описанными набором действий В [20] (рис. 4). Реализация данной схемы управления качеством продукта обеспечивается при неизменном основном оборудовании за счет возможностей информационной системы. Развитие средств и методов контроля структур и изломов позволяет получить более глубокое понимание физики явлений и процессов (для вычисленных средствами статистики критических траекторий технологии) и получить в целом более объективное представление о качестве металлопродукции, что сделает более надежным его прогноз и выработку приемов управления им [24].

Такие подходы к управлению были опробованы на массивах данных заводского контроля производства металлопродукции различного сортамента и показали свою эффективность [8, 20, 24].

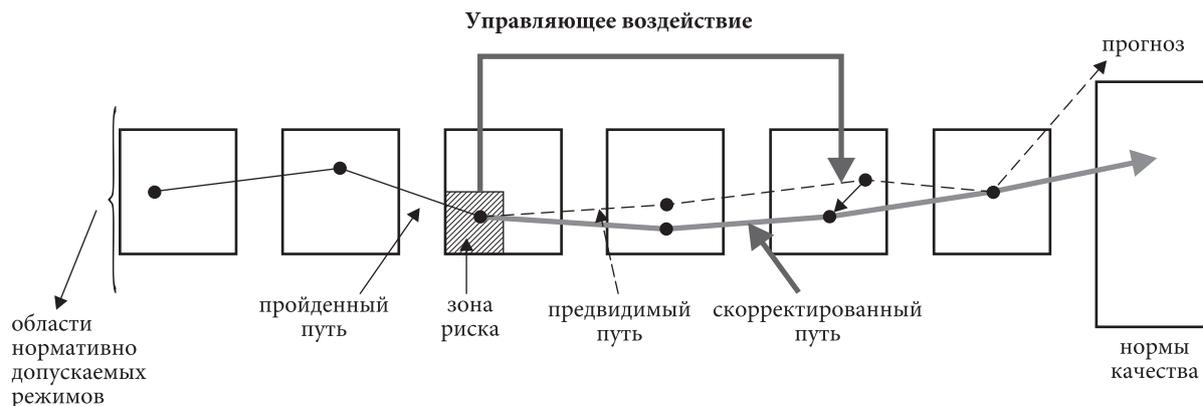


Рис. 4. Схема управления качеством металлопродукции, основанная на нелокальной компенсации возмущений последующей корректировкой технологического процесса

Подготовка специалистов

Реализация такого подхода при переходе на двухуровневую систему образования требует внесения изменений в стратегию и тактику подготовки полноценного выпускника вуза, способного уверенно себя чувствовать на рынке труда. В основе изменений – здравый смысл и широкое использование на практике лучшего опыта советской и зарубежной высшей школы.

В частности, при всей своей унификации учебные планы металлургов, материаловедов на самых ранних стадиях обучения в бакалавриате должны обеспечить возможность специализации студента в рамках будущих профилей подготовки (сталеплавильное производство, обработка металлов давлением, металловедение и термическая обработка и т.п.).

Это, в частности, проявилось в дифференциации объемов подготовки по физической химии, основам металлургии и материаловедения, механическим свойствам материалов и сопромату.

Особое место в подготовке бакалавров и магистров заняли дисциплины ИТ-цикла: анализ данных (восстановление зависимостей по эмпирическим данным; таксономия; распознавание образов по дискретным и непрерывным признакам; меры сходства; алгоритмы классификации, анализ временных рядов), компьютерная металлография (распознавание и классификация структур и текстур; методы обнаружения и измерения заданных объектов; реконструкция изображений; обзор пакетов прикладных программ).

Получили развитие дисциплины, связанные с компьютеризацией эксперимента, в частности с использованием среды *LabVIEW* (англ. *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) – это платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы *National Instruments* (США), применением мехатроники.

Свое место в учебных планах заняли вопросы диагностики материалов: распознавание веществ по составу и структуре; принципы определения состава; отбор проб; рандомизация; представительность выборки, методы разрушающего и неразрушающего контроля.

Важную роль играют вопросы, связанные с оценкой последствий глобализации экономики. Это – знакомство с мировыми банками данных по материалам и веществам (конструкционные металлы, керамика, силикаты, пластмассы и волокна; исходные материалы и полупродукты), изучение критериев и алгоритмов выбора и замены материала с учетом стандартов, сертификации и конечной экономической эффективности.

При кажущейся доступности информации (с учетом информативно-коммуникативных возможностей глобальной сети Интернет) сохраняет свое значение создание учебно-методической литературы нового поколения, пособий, систематизирующих и обобщающих знания в рамках отдельных дисциплин. Это классические курсы, создаваемые кафедрами и базирующиеся на длительной практике исследовательской работы в определенном направлении, многолетнем опыте преподавания. Они, что называется, находятся в «крови кафедр». К числу таких фундаментальных изданий, например, относится монография М.А. Штремеля «Разрушение» в двух книгах. Книга 1 «Разрушение материалов» вышла в ИД «МИСиС» в конце 2014 г., книга 2 «Разрушение структур» вышла в свет в апреле 2015 г. Монография является продолжением курса физики прочности («Дефекты решетки», МИСиС, 1999 г. и «Деформация», МИСиС, 1997 г.). Курс предназначен для подготовки специалистов в области разработки, исследования, выбора и применения материалов – сталей, сплавов, композитов и керамик – так, чтобы «студенту было понятно, а специалисту полезно». В связи с этим интересно построение структуры изложения материала в кур-



се. Оно идет, как в учебнике: «от начала», с обоснованием и выводом исходных соотношений, но – как в монографии – на основе системного отбора ключевых публикаций (для оценки масштаба: в первой книге монографии список цитируемой литературы состоит из 945 наименований!) анализируется современное состояние области знания, границы которой демонстрирует система примеров.

При обучении студентов по укрупненным направлениям подготовки существенно возрастает роль междисциплинарных учебных пособий, синтезирующих научные достижения и практический опыт в рамках, как правило, протяженных металлургических технологий, различные переделы которых традиционно курировали инженеры различных специальностей. Удачный опыт такого рода – коллективный труд большой группы специалистов, представляющих собой научные школы НИТУ «МИСиС», Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», Национальной государственной металлургической академии Украины (г. Днепрпетровск) и Приазовского государственного технического университета (г. Мариуполь) «Сталь на рубеже столетий» под ред. Ю.С. Карабасова, вышедший в издательстве МИСиС. В курсе отсутствует систематическое изложение технологии производства стали (это есть в соответствующих учебниках дисциплин, слушаемых студентами ранее), но есть анализ сложной системы взаимосвязей процессов и явлений на различных этапах технологии, их влияние на конечный результат – качество металлопродукции. По замыслу авторского коллектива, такой подход должен сделать пособие полезным не только для студентов, но и для выпускников в первые годы их трудовой деятельности.

Эти и многие другие издания легли в основу курсов, читаемых в магистратуре материаловедческого и металлургического направлений, например таких, как «Управление качеством металлопродукции» и «Последствия принятия решений в металлургии».

Интенсивно внедряются в практику обучения различные инновационные технологии «удаленного доступа» При этом, в частности, предполагается, что внедрение ИТ в учебный процесс освобождает преподавателя от рутинной работы, повышая тем самым производительность его труда. Однако следует отметить, что применение различных компьютеризированных средств в обучении не освобождает преподавателя от необходимости работы по содержанию, например обновления экзаменационных и контрольных задач, обсуждения результатов студенческой научной работы и многого другого. Общение по скайпу и электронной почте уменьша-

ет транспортные расходы, но не делает его менее затратным по времени для обеих сторон, участвующих в учебном процессе.

Компьютерные симуляции не имеют универсального характера (по крайней мере, в ближайшем будущем), поэтому, в частности, невозможно заменить лабораторные занятия по курсу «Механические свойства металлов» на практические занятия с показом картинок компьютерного происхождения. В этой связи оказалось полезным использование потенциала международного сотрудничества. Так, в 2013 г. в университете был открыт учебный класс центра механических испытаний МИСиС-*INSTRON*, уровень оборудования которого позволяет дать студентам не только представление о тенденциях развития мировой техники для механических испытаний, но и своими собственными руками использовать ее на лабораторных работах и при проведении научных исследований.

Обеспечение полноценной профессиональной подготовки – это одно из условий повышения эффективности в решении главной задачи языковой подготовки в вузе. Приобретение необходимых навыков в профессиональной области деятельности выпускника, связанной с необходимостью технического перевода, закладывается еще на стадии выполнения студентами научно-исследовательской работы. В конечном итоге здесь важно получить не просто банального переводчика инструкций по работе с зарубежным оборудованием, но человека, способного извлекать полезную информацию в области знаний, соответствующей направлению подготовки. Отсюда вытекает важность повышения роли выпускающих кафедр в этой составляющей подготовки студента.

Существенные шаги предпринимаются для перевода получаемых студентами знаний в активную форму путем их привлечения к научной работе еще на первых этапах обучения. Этому способствует активное участие преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов в различных конкурсах проектов и грантов, проводимых как у нас в стране, так и за рубежом.

Заключение

Использование ИТ – масштабное внедрение новых технологий, основанное на возможности обработки больших объемов информации, характеризует очередной, инновационный цикл развития мировой экономики. В отличие от многих отраслей промышленности, его эффективная реализация в металлургии предполагает, помимо широкого использования современных программных продуктов, средств цифровой регистрации разнообразной информации, достижение более

глубокого понимания физики явлений и процессов в рамках действующих технологий. Это можно обеспечить при условии подготовки кадров требуемой квалификации и при соответствующем уровне научного сопровождения работ.

Информационные технологии быстрее всего обновляемы, и они должны дать систему сквозного управления технологическим циклом, когда в рамках конкретной технологической эпохи можно поднять однородность качества за счет нелокального адаптивного управления: «поименно» каждой плавкой и слитком, «в реальном времени».

Конечный результат усилий в данном направлении – повышение конкурентоспособности отечественной металлопродукции в целом и решение проблемы импортозамещения в частности.

Литература

1. Сталь на рубеже столетий / Под ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСиС. 2001. – С. 445–543.
2. Кудря А.В. Возможности и перспективы информационных технологий в управлении качеством металла. // *Электрометаллургия*. – 2002. – № 9. – С. 35–42.
3. Кудря, А.В., Соколовская Э.А. Информационные технологии в обеспечении качества металлопродукции. // *Электрометаллургия*. – 2010. – № 12. – С. 35–43.
4. Кудря А.В., Соколовская Э.А. Неоднородность разномасштабных структур и сопротивление разрушению конструкционных сталей. // *Изв. РАН. Сер. Физическая*. – 2004. – Т. 68. – № 10. – С. 1495–1502.
5. Серов Ю.В. Метрологическое обеспечение технологических процессов черной металлургии (метрология и информатика). // *Справ. изд. в 2-х кн.* – М.: Металлургия, 1993.
6. Морозов А.А. и др. Информационная система управления производством и качеством продукции на стане 2000. // *Сталь*. – 2004. – № 12. – С. 61–64.
7. Виер И.В. и др. Опыт комплексной автоматизации процессов управления производством и качеством в подразделениях ОАО ММК. // *Сталь*. – 2007. – № 2. – С. 125–127.
8. Кудря А.В. и др. О возможности управления качеством металла на основе «раскопок данных» производственного контроля. // *Электрометаллургия*. – 2013. – № 11. – С. 28–34.
9. Штремель М.А. и др. Взаимосвязь двух аномалий излома высоколегированной конструкционной стали. // *Изв. РАН. Металлы*. – 1994. – № 2. – С. 96–103.
10. Крупин Ю.А., Сухова В.Г. Компьютерная металлография. – М.: МИСиС, 2009. – 87 с.
11. Соколовская Э.А. О воспроизводимости результатов измерений структур и изломов с использованием компьютеризированных процедур. // *Вопросы материаловедения*. – 2013. – № 4 (76). – С. 143–153.
12. Штремель М.А. Возможности фрактографии. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 5. – С. 35–43.
13. Ежов А.А., Герасимова Л.П. Разрушение металлов. – М.: Наука, 2004. – 400 с.
14. Кудря А.В. и др. Наблюдение и измерение характеристик структур, пластичности и вязкости в конструкционных сталях. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2009. – № 5. – С. 60–67.
15. Кудря А.В. и др. Измерение неоднородности разрушения в конструкционных сталях с разнородной структурой. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2015. – № 4 – С. 12–18.
16. Кузько Е.И. и др. Бесконтактный автоматический лазерный профилограф для изучения макрогеометрии образцов. // *Заводская лаборатория*. – 1992. – Т. 58. – № 9. – С. 63–65.
17. Кудря А.В. и др. Факторы неоднородности вязкости низколегированной стали 15Х2НМФА. // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 2009. – № 9. – С. 23–28.
18. Иванова В.С. и др. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
19. Кудря А.В. и др. Эффективность применения средств наблюдения различной размерности для анализа морфологии вязкого излома улучшаемых сталей. // *Деформация и разрушение материалов*. – 2010. – № 1. – С. 38–44.
20. Штремель М.А., Кудря А.В., Иващенко А.В. Непараметрический дискриминантный анализ в задачах управления качеством. // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2005. – Т. 72. – № 5. – С. 53–62.
21. Рожков И.М., Власов С.А., Мулько Г.Н.. Математические модели для выбора рациональной технологии и управления качеством стали. – М.: Металлургия, 1990. – 184 с.
22. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
23. Кудря А.В., Штремель М.А. О достоверности анализа данных в управлении качеством. // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2010. – № 7. – С. 50–55.
24. Никитин Я.Ю. Асимптотическая эффективность непараметрических критериев. – М.: Физматлит, 1995. – 240 с.



The composed qualities of modern steels

A.V. Kudrya, doctor of technical sciences, professor, National research technological university «Moscow Institute of Steel and Alloys» (NRTU «MISiS»); Moscow e-mail: AVKudrya@misis.ru

E.A. Sokolovskaya, candidate of technical sciences, the associate professor of National research technological university «Moscow Institute of Steel and Alloys» (NRTU «MISiS»); Moscow

Summary. Factors of quality of steels within modern metallurgical production are estimated. The prospects of use of information technologies for increase in uniformity of quality of metal and the changes in training of the top skills accompanying it are analysed.

Keywords: quality of steel, information technologies in metallurgical science and metallurgy, training of the top skills.

References

1. Karabasov Yu.S. Steel at a turn of centuries. *Moscow Institute of Steel and Alloys*. 2001. Moscow, pp. 445–543.
2. Kudrya A.V. Opportunities and prospects of information technologies in metal quality management. *Electrometallurgy*. 2002. No. 9. pp. 35–42
3. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A. Information technologies in quality assurance of steel products. *Electrometallurgy*. 2010. No. 12. pp. 35–43.
4. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A. Heterogeneity of multi-scale structures and resistance to destruction constructional staly. *News of the Russian academy of Sciences. Physical series*. 2004. Volume 68, No. 10. pp. 1495–1502.
5. Serov Yu.V. Metrological support of technological processes of ferrous metallurgy (metrology and informatics). *The reference media in 2 books. Metallurgy*. 1993. Moscow
6. Morozov A.A., Sarychev A.F., Lisichkina K.A. The information management system of production and product quality on a camp 2000. *Steel*. 2004. No. 12. pp. 61–64.
7. Vier I.V., Kaplan D.S., Senichev V.S., Kaptan F.V., Urtsev V. N., Fomichev A. V. Experience of complex automation of processes of management of production and quality in divisions of JSC Magnitogorsk Iron and Steel Works. *Steel*. 2007. No. 2. pp. 125–127.
8. Kudrya A.V., Shabalov I.P., Sokolovskaya E.A. About a possibility of quality management of metal on the basis of «this excavation» of production supervision. *Electrometallurgy*. 2013. No. 11. pp. 28–34
9. Shtremel M.A., Alekseev I.G., Kudrya A.V. Interrelation of two anomalies of a break of the high-alloyed constructional steel. *News of the Russian Academy of Sciences. Metals*. 1994. No. 2. pp. 96–103.

10. Krupin Yu.A., Sukhova V.G. Computer metallography. *Moscow institute of steel and alloys*. 2009. Moscow, 87 p.

11. Sokolovskaya E.A. About reproducibility of results of measurements of structures and breaks with use of the computerized procedures. *Materials science questions*. 2013. No. 4 (76). pp. 143–153

12. Shtremel M.A. Possibilities of a fraktografiya. *Metallurgical science and heat treatment of metals*. 2005. No. 5. pp. 35–43.

13. Ezhov A.A., Gerasimova L.P. Destruction of metals. *Science*. 2004. Moscow, 400 p.

14. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A., Sukhova V.G., Markov E.A., Arsenkin A. M., Salikhov T. Sh. Observation and measurement of characteristics of structures, plasticity and viscosity in constructional the stalyakh. *Metallurgical science and heat treatment of metals*. 2009. No. 5. pp. 60–67.

15. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A., Trachenko V.A., Le Hay Nin, Skorodumov S.V., Papina K.B. Measurement of heterogeneity of destruction in constructional of the steels with diverse structure. *Metallurgical science and heat treatment of metals*. 2015. No. 4. pp. 12–18.

16. Kuzko E.I., Kudrya A.V., Starikov S.V. The contactless automatic laser profilograph for studying of macrogeometry of samples. *Factory laboratory. Volume 58*. 1992. No. 9. pp. 63–65.

17. Kudrya A.V., Nikulin S.A., Nikolaev Yu. N., Arsenkin A.M., Sokolovskaya E.A., Skorodumov S.V., Chernobayeva A.A., Kuzko E.I., Khoreva E.G. Factors of heterogeneity of viscosity of the low-alloyed steel 15H2NMFА. *News of higher education institutions. Ferrous metallurgy*. 2009. No. 9. pp. 23–28.

18. Ivanova V.S., Balankin A.S., Bunin I.Zh., Oksogoev A.A. Sinergetik and fractals in material science. *Science*. 1994. Moscow, 383 p.

19. Kudrya A.V., Sokolovskaya E.A., Arsenkin A.M. Efficiency of use of watch facilities of various dimension for the analysis of morphology of a viscous break improved by staly. *Deformation and destruction of materials*. No. 1. 2010. pp. 38–44.

20. Shtremel M.A., Kudrya A.V., Ivashchenko A.V. The nonparametric discriminant analysis in quality management tasks. *Factory laboratory. Diagnostics of materials. Volume 72*. No. 5. 2005. pp. 53–62.

21. Rozhkov I.M., Vlasov S.A., Mulko G.N. Mathematical models for the choice of rational technology and quality management became. *Metallurgy*. 1990. Moscow, 184 p.

22. Nalimov V.V. Theory of an experiment. *Science*. 1971. Moscow, 208 p.

23. Kudrya A.V., Shtremel M.A. About reliability of the analysis of data in quality management. *Metallurgical science and heat treatment of metals*. 2010. No. 7. pp. 50–55.

24. Nikitin Ya.Yu. Asymptotic efficiency of nonparametric criteria. *Physmat literature*. 1995. Moscow, 240 p.