

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 658.562.4:005.6

*М.В. Чукин, А.С. Кузнецова*

Магнитогорский государственный технический университет

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ DEFORM-3D

Определение и прогнозирование показателей качества металлоизделий ответственного назначения является важнейшей проблемой в процессе их производства. При этом наличие априорной информации об исследуемом объекте, полученной на основе моделирования операций технологического процесса в программном комплексе DEFORM-3D®, позволяет не только в значительной степени сократить объем экспериментальных исследований, но и дает возможность управлять основными факторами процесса. Выбор программной среды в качестве инструмента исследований обусловлен ее возможностью создания моделей операций технологического процесса производства, анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) материала инструмента и заготовки, а также получения необходимой информации на любом этапе формирования готового изделия, что в свою очередь затруднительно в условиях промышленного производства.

Результаты анализа научно-технической информации указывают на ограниченность известных подходов для прогнозирования и контроля качественных характеристик готовой продукции, в связи с этим целью работы является построение универсального алгоритма, основанного на численном моделировании и позволяющего прогнозировать и управлять показателями качества готовой металлопродукции. Общую схему управле-

ния качеством можно представить в виде блок-схемы (рис. 1), сущность которой заключается в обеспечении возможности управления свойствами выпускаемого металлоизделия за счет изменения параметров состояния изделия или параметров управления (параметры внешнего воздействия).

На основе анализа нормативной и технической документации, проведения экспериментальных исследований, а также численного конечно-элементного моделирования процессов механических испытаний крепежа с накопленным НДС, был разработан универсальный алгоритм, позволяющий прогнозировать качество готового изделия и принимать решения о необходимости проведения соответствующих корректирующих мероприятий. В общем случае алгоритм включает следующие этапы:

- анализ научной и технической документации;
- создание моделей основных технологических операций производства;
- анализ возможности реализации предлагаемых технологических процессов с учетом особенностей используемых материально-технических ресурсов;
- анализ результатов.

В случае производства крепежа повышенного класса прочности основные этапы алгоритма приведены на рис. 2.

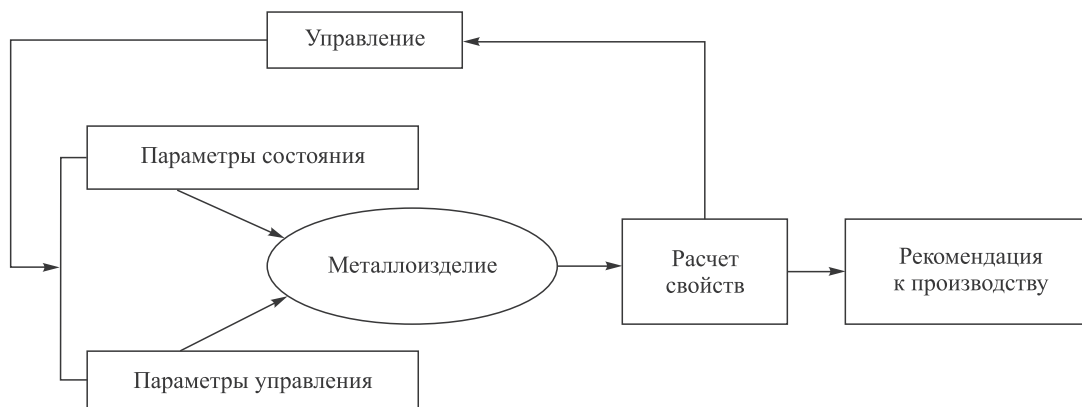


Рис. 1. Общая схема управления качеством металлопродукции

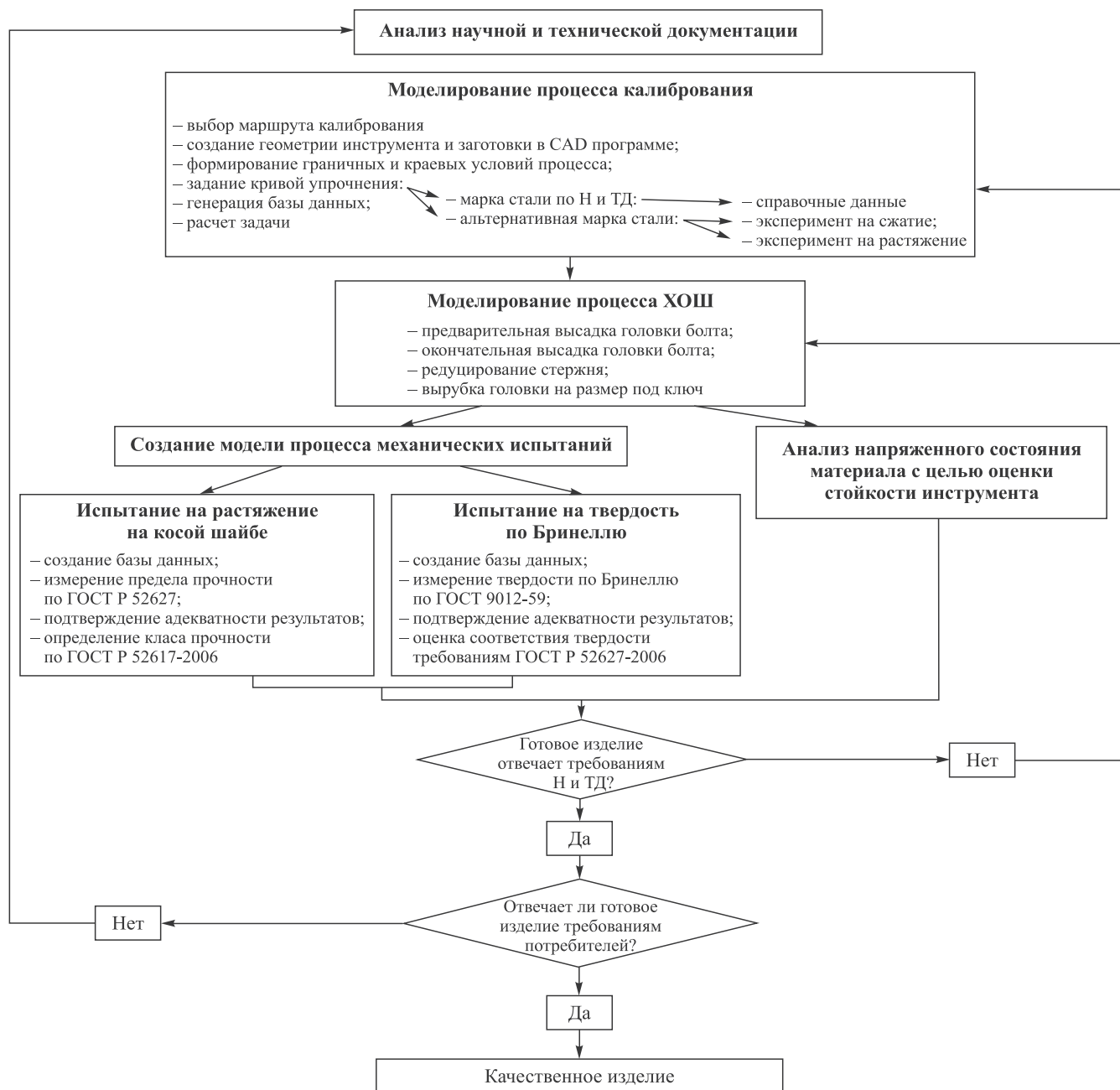


Рис. 2. Алгоритм определения и прогнозирования показателей качества металлопродукции

В соответствии с предлагаемым алгоритмом первоначальным этапом является сбор необходимой информации об исследуемом объекте, важной особенностью которой является ее достоверность и надежность. Анализ научной и технической документации особенно полезно проводить на начальной стадии оценки, когда необходимо определить основные цели и задачи исследований.

Следующим этапом работы является создание модели основных технологических операций, влияющих на качество продукции, в том числе операций калибровки и холодной объемной штамповки (ХОШ) в программном комплексе DEFORM-3D. Пооперационная модель высадки шестигранного болта, пред-

варительно калиброванного с различной степенью суммарного обжатия, создавалась на основе технологической схемы производства, действующей в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Для реализации модели калибровки (рис. 3, а) важными этапами являются:

- выбор режима калибровки, который в свою очередь влияет на суммарную степень обжатия заготовки;
- выбор волокна, конструктивные параметры которой влияют на формирование схемы НДС;
- задание требуемых граничных и краевых условий;
- задание механических свойств материала, которые закладываются в виде кривой упрочнения.

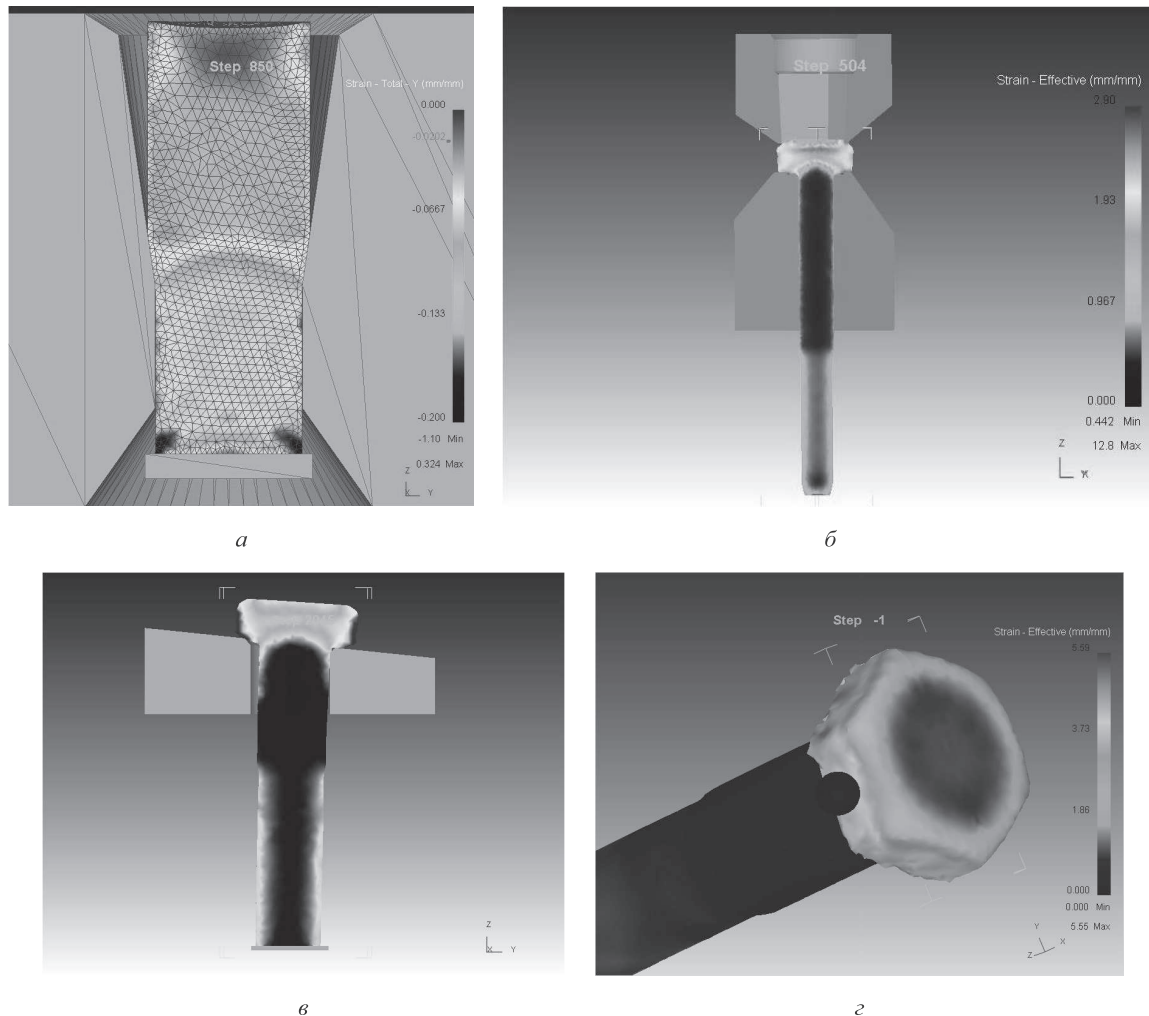


Рис. 3. Моделирование технологических операций:  
 а – калибрование; б – холодная объемная штамповка; в – испытание на растяжение на косой шайбе;  
 з – испытание на твердость по Бринеллю

Если в качестве заготовки используются традиционные материалы, применяемые в условиях действующего производства, то закладывается кривая упрочнения, полученная из горячекатаного проката, подвергнутого термической обработке. Допускается использование справочных данных [1], применение которых приемлемо, так как дает высокую сходимость с экспериментальными данными. Если же в качестве материала используются альтернативные марки стали, то необходимо проведение дополнительных экспериментов на сжатие и растяжение для построения кривой упрочнения.

Калиброванная заготовка с накопленным НДС на следующем этапе подвергается основным формообразующим операциям, а именно операциям процесса ХОШ: предварительной высадке головки болта, окончательной высадке головки болта, редуцированию стержня и вырубке головки на размер под ключ (рис. 3, б). На этом этапе формируется модель готового изделия с требуемыми свойствами.

Отличительной особенностью представленного алгоритма является анализ напряженного состояния

инструмента с целью оценки его стойкости в процессе высадки болта [2]. Проведение данного этапа работы необходимо, так как стойкость инструмента является важнейшим фактором, влияющим на стабильность технологического процесса, производительность автомата, а также на качество высаживаемых болтов. Стоимость инструмента может составлять значительную долю производственных затрат, особенно при его работе в условиях действия высоких давлений в процессе ХОШ.

Важным преимуществом использования программного комплекса DEFORM-3D является возможность моделирования механических испытаний (рис. 3, в, з), которые позволяют определить контролируемые показатели качества готовой продукции. В случае получения крепежа повышенного класса прочности в соответствии с ГОСТ Р 52627-2006 основными контролируемыми показателями являются временное сопротивление на разрыв и твердость по Бринеллю [3]. Сравнение полученных характеристик с экспериментальными данными и с требованиями стандартов, сформированными

с учетом требований потребителей, позволяет сделать вывод о пригодности продукции.

Описанный алгоритм был успешно применен к процессу ХОШ болтов с резьбой М10 и М16, изготов-

ленных из крупнозернистой (КЗ) стали марок 10 и 20 и стали с ультрамелкозернистой структурой марок 20 и 45 (табл. 1 – 3). Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований и математического

Таблица 1

**Результаты расчета и испытаний на одноосное растяжение заготовок после операции калибрования, а также при растяжении на косо́й шайбе болтов из крупнозернистой стали марок 10 и 20 при различных суммарных степенях обжатия**

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжатия, %	Значение временного сопротивления после калибрования расчетное/(экспериментальное), МПа		Значение временного сопротивления после высадки болта расчетное/(экспериментальное), МПа	
			Крупнозернистая сталь марки 10	Крупнозернистая сталь марки 20	Крупнозернистая сталь марки 10	Крупнозернистая сталь марки 20
Болт М10	9,65	0	390/(410 – 490)	463/(440 – 540)	407	430
	12 – 9,65	35	612/(560 – 700)	710/(600 – 710)	610/(590 – 730)	663/(620 – 760)
	14 – 12 – 9,65	52,5	710	804	647	721
	15 – 14 – 12 – 9,65	58,6	–	–	662	753
Болт М16	15,5	0	392/(420 – 490)	464/(430 – 530)	395	470
	17 – 15,5	18,	504/(460 – 540)	682/(540 – 630)	513/(460 – 530)	615/(600 – 680)
	19 – 15,5	34	604/(580 – 630)	814/(640 – 770)	610/(600 – 680)	700/(690 – 750)
	21 – 19 – 17 – 15,5	45,5	–	–	650	720

Таблица 2

**Результаты расчета и испытаний на одноосное растяжение заготовок после операции калибрования, а также при растяжении на косо́й шайбе болтов из стали с ультрамелкозернистой структурой марок 20 и 45 при различных суммарных степенях обжатия**

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжатия, %	Значение временного сопротивления после калибрования расчетное, МПа		Значение временного сопротивления после высадки болта расчетное/(экспериментальное), МПа	
			Ультрамелкозернистая сталь марки 20	Ультрамелкозернистая сталь марки 45	Ультрамелкозернистая сталь марки 20	Ультрамелкозернистая сталь марки 45
Болт М10	9,65	0	791,4	890	811/(770)	902
	12 – 9,65	35	1019	1159	870	1018
	14 – 12 – 9,65	52,5	1044	1245	886	1039
Болт М16	15,5	0	797	890	816/(686)	924/(873)
	17 – 15,5	18	966,5	1112	869	1014
	19 – 17 – 15,5	34	1025	1310	891	1042

Таблица 3

**Результаты расчета твердости по Бринеллю для заготовок из стали с ультрамелкозернистой структурой**

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжатия, %	Значение твердости по Бринеллю, НВ	
			Ультрамелкозернистая сталь марки 20	Ультрамелкозернистая сталь марки 45
Болт М10	9,65	0	239	266
	12 – 9,65	35	257	300
	14 – 12 – 9,65	52,5	264	307
Болт М16	15,5	0	250	279
	17 – 15,5	18	256	299
	19 – 15,5	34	263	307

моделирования подтвердил адекватность полученных данных и целесообразность использования программной среды DEFORM-3D для дальнейших исследований. К примеру, для заготовки из К3 стали марки 20, калиброванной по маршруту 12,0 – 9,65 мм, полученное расчетное значение предела прочности находится в интервале значений, полученных в результате эксперимента, где расхождения относительно максимального и минимального 11 и 8 % соответственно. Сопоставление результатов расчета твердости по Бринеллю для того же маршрута также показывает удовлетворительную сходимость – отклонение не превышает 7 %.

Представленный алгоритм является универсальным и может подходить для определения и прогнозирования показателей качества металлопродукции, полученной в результате различных процессов обработки металлов давлением. Применение предлагаемого алгоритма

обеспечивает возможность контроля, прогнозирования и гарантированного достижения регламентированных качественных показателей металлопродукции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
2. Чукин М.В., Гусева Е.Н., Емалеева Д.Г. и др. Инновационный потенциал применения УМЗ сталей для производства крепежа повышенного класса прочности. / Тр. междунар. конф. «Форсированное индустриально-инновационное развитие в металлургии». – Алматы. 2010. С. 30–33
3. ГОСТ Р 52627-2006. Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2007. – 24 с.

© 2012 г. М.В. Чукин, А.С. Кузнецова  
Поступила 06.02.2012

УДК 681.518:621.74.047

*Газимов Р.Т., Демин А.В., Салихов К.З., Салихов З.Г.*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

### КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОХЛАЖДАЮЩИХ РОЛИКОВ В ЗВО МНЛЗ

Использование охлаждающих роликов для контроля и управления тепловым состоянием слябов, листов, полос при непрерывной разливке и прокатке металла является на сегодняшний день наиболее прогрессивным технологическим решением. Традиционно применяемые в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и прокатных станах системы форсуночного охлаждения базируются на моделях и алгоритмах управления, исходные параметры которых имеют нестационарный и вероятностный характер. Например, площади факелов форсунок, через которые подается хладагент на металлическую поверхность, существенно зависят от давления или расхода хладагента, засоленности подводных трубок и самих форсунок, а параметры кристаллизации или рекристаллизации внутри сляба или листа вообще не контролируются. Принятые коэффициенты теплопередачи изменяются в широких диапазонах из-за контакта хладагента с растворенными солями, взвесями, пылью, нефтепродуктами и окалиной, что в свою очередь существенно снижает управляемость процессом охлаждения слитка и может привести к авариям и снижению производительности. Немаловажным также является то, что в системе форсуночного охлаждения контур циркуляции хладагента остается разомкнутым. Расход охлаждающего агента в этом случае значительно больше, чем теоретически требуется. При этом мероприятия по последующей очистке хладагента требуют

значительных капитальных вложений (строительство очистных сооружений и отстойников, дополнительных трубопроводов и насосов), ресурсо- и энергозатрат на очистку, а также сопряжены с риском загрязнения окружающей среды и прочими экологическими факторами.

В свою очередь метод роликового охлаждения лишен большинства вышеперечисленных недостатков. Во-первых, хладагент циркулирует в замкнутом контуре, что не только повышает экономическую и экологическую эффективность охлаждения, но и позволяет, измеряя и регулируя проток хладагента через ролик, контролировать и управлять величиной теплоотода каждым конкретным роликом, а значит радикально повысить качество процесса охлаждения в целом. Во-вторых, ролики обеспечивают контролируемый равномерный теплоотем по всей ширине слитка, что предотвращает возникновение существенных температурных градиентов и, как следствие, термонапряжений, деформаций и ухудшения поверхности. В третьих, охлаждение идет без интенсивного паро- и окаинообразования, что создает условия для точного прямого контроля полного теплового профиля поверхности слитка с использованием современных термографических (тепловизионных) средств. Это опять же существенно повышает контролируемость процесса и дает возможность использовать более эффективно компьютерные математические модели, но не виртуальные,