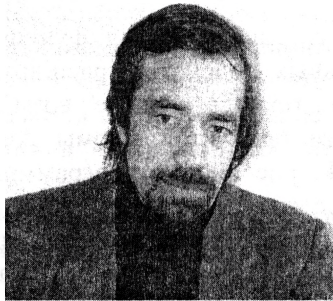


КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОРЫВА В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Продукция сварочных производств Республики Беларусь (около 900 тыс. тонн сварных конструкций в год) страдает завышенными в 1,5–2 раза металлоемкостью, объемом наплавленного металла, расходом электроэнергии для производства по сравнению с европейскими аналогами. До 75% возникающих на этапе производства и эксплуатации дефектов обязаны своему появлению проектным и конструкторским стадиям.

Как свидетельствует мировой опыт, повышение конкурентоспособности может быть обеспечено, наряду с другими техническими и организационными мероприятиями, и за счет построения и эффективного использования сквозных информационных технологий проектирования и подготовки производства сварных конструкций.

В работе [1] справедливо отмечается "серьезное отставание Беларуси в области развития информационных технологий и использования широких возможностей сети ИНТЕРНЕТ, что может привести к существенному отставанию во многих отраслях науки и техники". Однако использование лишь информационных возможностей сети, которая с каждым годом все больше коммерциализируется, превращается в выставку рекламных роликов, вряд ли в состоянии всерьез поднять конкурентный уровень выпускаемой продукции. В сети INTERNET ни одна фирма своего know-how не представляет. Это справедливо как для завер-



*С.В.Медведев,
к.т.н, заведующий лабораторией
Института технической кибернетики НАН Б,
член Ассоциации
белорусских сварщиков*

шенной продукции, так и для отдельных ее частей, к которым относятся и сварные конструкции.

По непонятным причинам в проекте Государственной программы развития порошковой металлургии и сварки на ближайшую перспективу [2] вопросам разработки, внедрения, сопровождения и совершенствования компьютерных технологий технической подготовки производства сварных конструкций уделено, как нам кажется, заведомо недостаточно внимания. В данной статье предпринимается скромная попытка восполнить отмеченный пробел.

К сожалению, значительная часть сварных конструкций создается специалистами, поверхностно знакомыми с основами технологии сборки-сварки. Профессиональным инженерам-сварщикам (их, кстати, явно недостаточно) не хватает сил, инженерного упрямства, в том числе пробивных, качеств для придания сварным соединениям,

узлам и сборочным единицам технологичного сварочного вида. Инженеров-сварщиков готовят более 50-ти сварочных кафедр ВУЗов СНГ. В Беларуси только одна кафедра в Могилевском государственном техническом университете.

В силу этого сплошь и рядом сварная сборочная единица (ССЕ) неквалифицированно разрабатывается рядовым инженером заводской службы, без ответственности с канонами разработки сварных конструкций. Последствия этого могут быть весьма серьезны – аварийные ситуации, непредвиденные поломки узлов, а также рекламации заказчиков и другие неприятности.

Что делать в подобной ситуации? Необходима комплексная автоматизация проектирования и изготовления на базе информационной увязки основных проектных процессов технической подготовки в рамках компьютерных CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) - технологий параллельной разработки и поддержания всех этапов жизненного цикла новых изделий. В известной степени CALS-технологии могут рассматриваться как независимое подтверждение принципов конструктивно-технологического проектирования Н.О. Окерблома, высказанные в 60-х годах прошлого века (Окерблом Н.О. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций. – М – Л.: Машиностроение. – 1964. – 419 с.). Только недостаточный уровень

развития вычислительной техники не позволял тогда их использовать и совершенствовать в должной мере.

На общем фоне широкого использования компьютерных технологий проектирования-изготовления, моделирования и мониторинга объектов и процессов, например, механической обработки, сварочный технологический передел в этом отношении весьма отстает.

В исследовательских центрах и предприятиях РБ и СНГ, имеющих отношение к информационным технологиям в сварке, основные усилия направлены на решение проблем в следующих областях: математическое моделирование явлений и процессов в сварочной дуге и околошовной зоне; моделирование кинетики развития сварочных напряжений и деформаций; прогнозирования качества сварных соединений; формирования текстовых технологических документов; конструирования сварочных инструментов, сборочно-сварочной оснастки и нестандартного сборочно-сварочного оборудования; автономного программирования сварочных роботов.

Однако указанные направления работ не скоординированы должным образом. Единой системы с общим методическим стержнем, единой программной средой и ориентированным на специалиста-сварщика интерфейсом пока не разработано.

Создавать сварные конструкции без применения развитых средств геометрического и графического моделирования становится практически невозможно. Зарубежные партнеры при заключении контрактов одним из условий ставят выполнение объектов и их чертежей в элек-

тронном виде в пользующихся на Западе доверием и популярностью универсальных системах. По опыту белорусских предприятий с развитым сборочно-сварочным переделом наиболее часто используются: Unigraphics 15.0 и выше, AutoCAD 2000, Mechanical DeskTop Power Pack 6 и ряд функциональных подсистем, расширяющих технологические возможности продуктов фирмы AutoDesk, российские программные продукты T-Flex и Компас.

Однако в универсальных средах в должной мере не нашло отражение потребность конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций. В новых версиях Unigraphics, начиная с 17.0, появляются опции для нанесения сварных швов контактной точечной и дуговой сварки. В ряд систем встроены или имеют с ними сопряжение через стандартный формат обмена данными программные средства конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС). Unigraphics стыкуется с системой PATRAN, Solid Works интегрировала в себя COSMOS/M, Mechanical DeskTop Power Pack 6 располагает собственным модулем анализа прочности изотропных тел FEA, представленных твердотельными моделями. Однако использование этих весьма дорогих средств "в лоб" для решения повседневных сборочно-сварочных задач не обеспечивает, как правило, ожидаемой производительности и революционизирующего влияния на сроки, качество разработки и подготовки производства конкурентоспособных сварных конструкций.

Сложившаяся ситуация может вызываться следующими причинами. В универсальных системах геометрического проектирования и моделирования специфика сборочно-сварочных процессов с их конструктивно-технологическим характером отражена достаточно слабо, что еще раз подтверждает существование трудностей в моделировании и алгоритмизации процессов проектирования и подготовки производства сварных конструкций.

В развитых странах разработки любых изделий, в том числе сварных конструкций, ведутся исключительно с помощью современных ПЭВМ и графических станций. Давно осознанно и принято к действию, что в основе проектирования лежит не геометрия деталей, а их функции, продукт-процесс, know-how фирмы, отдела, группы высококлассных специалистов, выстраданные традиции и проверенные методики. Know-how и методики рационального проектирования необходимо "выуживать" из опыта классных специалистов, доступных литературных источников, РТМ и других документов. Методики проектирования, доведенные до соответствующих моделей, алгоритмов и программно-методических средств следует "погружать" в среду базового графического пакета, который "прижился" и освоен специалистами данного предприятия. Лишь в этом случае становится возможным создание инструментария, используя который специалист-несварик, может разработать квалифицированную сварную конструкцию.

Интересен в этом отношении опыт китайских ученых и специалистов, которые до недавнего времени существенно отставали в области компьютерных

технологий в сварке. Однако публикации за последние несколько лет показывают, что сделано серьезное упреждение на базе анализа современных тенденций как сварки, так и процессов компьютеризации. Заслуживает внимания общая теория соединений, в том числе сварочных, применение нейронных сетей, подходов нечеткой логики и другие работы, которые не догоняют, а идут своим оригинальным путем, но в ногу со временем, а может быть и слегка опережая его.

Проведенные исследования, анализ литературных данных, доступной информации в сети INTERNET показывают, что процессы создания сварной конструкции, технологии ее сборки-сварки и средств оснащения должны выполняться в тесном взаимодействии специалистов по конструированию изделий основного производства, технологов и конструкторов оснастки. Схема возникающих при этом циклических проектных процессов конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций показана на рис.1.

Блок 1 обеспечивает импорт или диалоговое формирование твердотельных моделей деталей и сварных швов ССЕ. Блок 2 позволяет оценить статическую прочность сварной конструкции на этапе конструирования, когда технология сборки-сварки практически еще не разработана, а существует лишь в виде укрупненных представлений инженера-конструктора. На этом этапе сварные швы, как правило, в конечно-элементных расчетах рассматриваются как некоторые неоднородности, своего рода дефекты сборочных единиц и деталей. Конструктор не принимает во внимание основные эта-

пы и особенности технологических процессов, отдавая их на откуп инженерам-технологам по сварке. Анализ и оценка остаточных деформаций и напряжений на этом этапе также не проводится, что приводит к завышенным допускам входящих в ССЕ деталей и необходимости дополнительной механической обработки, о чем обязательно делается соответствующее указание в чертежной документации.

Инженер-технолог подключается к работе с твердотельной моделью ССЕ на этапе технологического контроля (блок 4). Если при заданной производственной программе существующий технологический уровень не выдерживает критики, то необходимы коррективы сварной конструкции, вариантов технологического узлового и сварных соединений.

Блоки 6 и 7 позволяют сформировать принципиальную технологию и получить конструктивное воплощение средств технологического оснащения. Блок 8, оцениваемый конструктором и технологом, обеспечивает расчет статической прочности разрабатываемой ССЕ. Во внимание принимается сформированная к этому моменту сборочно-сварочная технология. Блок 10 окончательно оформляет технологическую документацию на взаимосогласованный конструктором и технологом вариант конструкции ССЕ. Считаем, что в случае конфликтных ситуаций, невозможности нахождения консенсуса решающее мнение должно быть оставлено за инженером-технологом по сварке.

Представляется целесообразным подобный научно-методический подход перенести в белорусские сборочно-сварочные

условия. В ближайшие несколько лет на всех предприятиях РБ компьютерные пространственные модели и плоские чертежи будут формироваться в инструментальных универсальных и специализированных программных средах. Для действительно конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций в универсальные пакеты необходимо встроить ряд дополнительных опций и методических регламентов компьютерного проектирования: 1) нанесения твердотельных моделей сварных швов с идентификацией начальных и конечных точек, а также формированием локальных схем нагружения внутренними усачными силами (продольными и поперечными), неравномерными по длине швов;

2) тарирования усачных сил по результатам сварки (наплавки) экспериментальных образцов в условиях конкретных производств;

3) формирования схем установки и закрепления деталей сварных конструкций с учетом прогнозных направлений перемещения характерных точек и сечений;

4) формирования типовых схем нагружения эксплуатационными нагрузками в статическом и динамическом режимах;

5) оценки перемещений и деформаций конструкций при выполнении сварки швов в заданной последовательности при указанной выше схеме закрепления конструкции с обеспечением возможностей анализа отдельной конструкции после выполнения сварки каждого шва или группы швов;

6) формирования вариантов конструкций универсальных и/или специальных средств оснащения по информации из схем

установки-закрепления сварных конструкций;

7) формирования количественных характеристик конструктивно-технологических вариантов с учетом расходов основных и вспомогательных материалов;

8) конечно-элементного расчета остаточных напряжений и деформаций сварной конструкции, сварной конструкции с приспособлением, сварной конструкции под действием эксплуатационных нагрузок при минимально возможном времени счета;

9) формирования наглядной технологической документации, отражающей как процессы сборки-сварки, так и последовательные изменения результирующего напряженно-деформированного состояния сварных конструкций.

Допускаем, что представленный перечень может оказаться не полным, но в целом за основу он может быть принят. Основную вычислительную нагрузку, как нам кажется, в нем несет пункт 8, который должен реализовываться на современных суперкомпьютерах. Подобная машина семейства суперкомпьютеров СКИФ разработана в рамках Программы Союзного государства, имеет пиковую производительность свыше 30 млрд. операций/с. Суперкомпьютер СКИФ располагается в Институт технической кибернетики НАН Беларуси, к нему может быть организован удаленный доступ заинтересованным пользователям, а также предоставление машинного времени на взаимовыгодных условиях.

Возможно, что потребуется разработка новых решателей конечно-элементных задач, учитывающих как специфику сва-

рочных процессов, так и особенности программной реализации отдельных модулей для эффективного распараллеливания процессов вычислений.

Практически по каждой из 9-ти упомянутых выше опций имеются на территории РБ и СНГ наработки, которые необходимо квалифицированно интегрировать в рамках современного программно-методического комплекса. Некоторые опции (например, конечно-элементный решатель) могут быть закуплены у известных в этой области зарубежных фирм.

Определенные теоретические и практические работы по компьютеризации конструктивно-технологического проектирования реальных сварных конструкций проделаны автором и его коллегами из лаборатории синтеза технических систем Института технической кибернетики НАН Беларуси [3–6]. На рис.2. в качестве примера показана реальная сварная конструкция (а – вид сверху, б – вид снизу) – колосниковая решетка. Габариты 1500x1800x180 мм, масса ~ 550 кг, суммарная длина сварных швов ~ 18 м. Сварка ручная дуговая экспериментального образца по очевидной технологии, предложенной цеховыми специалистами, показала практически неисправимые остаточные деформации, характер которых, по результатам компьютерного моделирования, приведен на рис.3. Интересно отметить, что интенсивная переменная нагрузка на решетку совпадает с направлением прогиба, что еще более усугубляет общее напряженно-деформированное состояние, создает зоны концентрации напряжений и снижает общий ресурс сварной конструкции. Незначительные

изменения, внесенные в конструкцию колосниковой решетки, а также компьютерное моделирование остаточных деформаций до реальной сварки позволили получить незначительный обратный прогиб, направленный в противоположную сторону по отношению к эксплуатационной нагрузке (рис.4). Удалось, таким образом, разгрузить сварные швы, из разряда несущих перевести их в качество связующих, а основной металл сварной конструкции заставить работать в упругой зоне, воспринимая значительную часть нагрузки. При переходе к выпуску партий подобных конструкций потребуются сборочно-сварочная технологическая оснастка, влияние которой на результирующее напряженно-деформированное состояние сварной конструкции также может быть оценено при постановке и проведении соответствующих конечно-элементных расчетов.

Выводы

1. Повышение конкурентоспособности сварных конструкций в основных машиностроительных отраслях промышленности РБ целесообразно выполнять на базе углубленного конструктивно-технологического проектирования в современных высокопроизводительных программно-технических и информационных средах.

2. Требуется оперативное создание оригинальных программных, методических и инструментальных средств конструктивно-технологического проектирования, моделирования и прогнозирования ресурса конструкций.

3. В РБ и СНГ имеется достаточно наработок, сохранивших

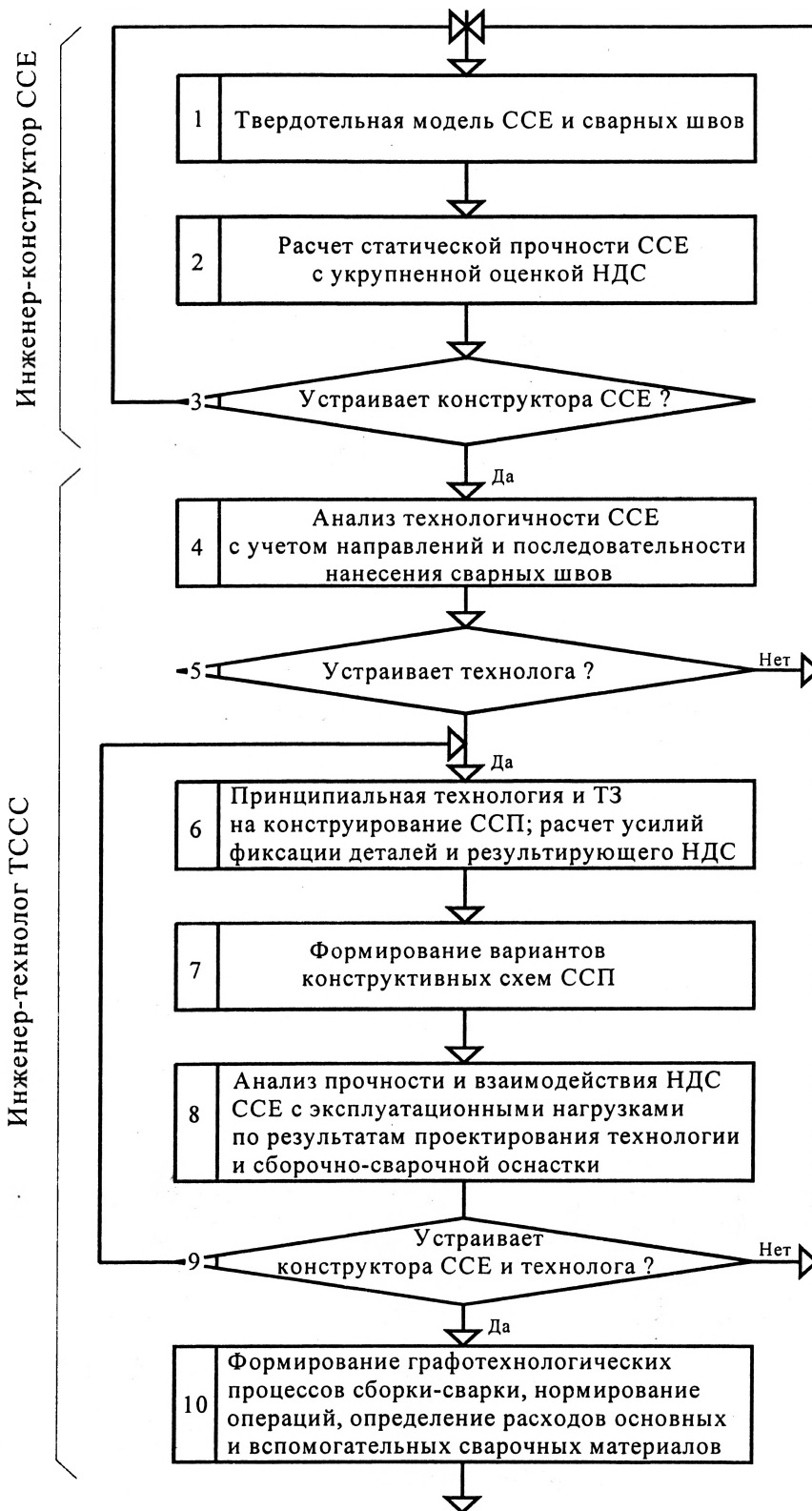
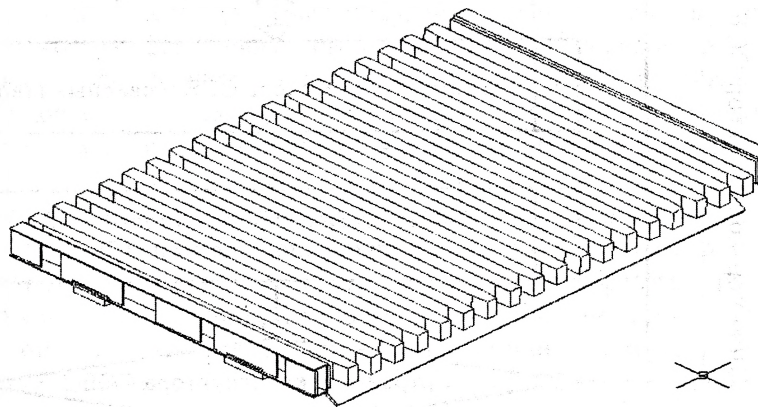
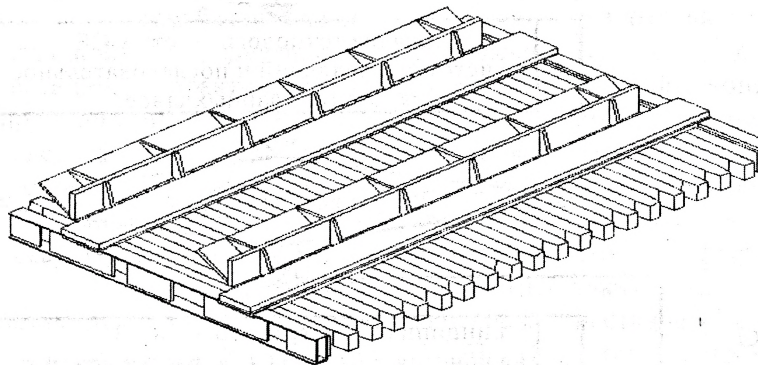


Рис.1. Циклические процессы конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций общего назначения



а)

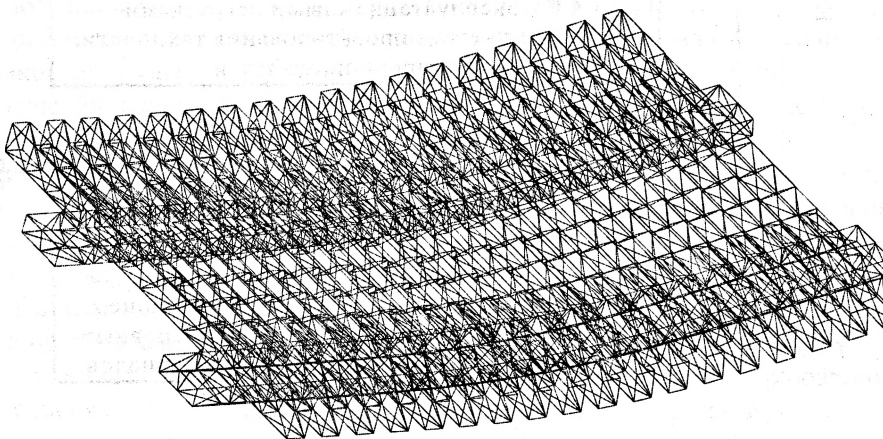


б)

Рис.2. Компьютерная твердотельная модель колосниковой решетки



а)



б)

Рис.3. Остаточные деформации исходной сварной конструкции

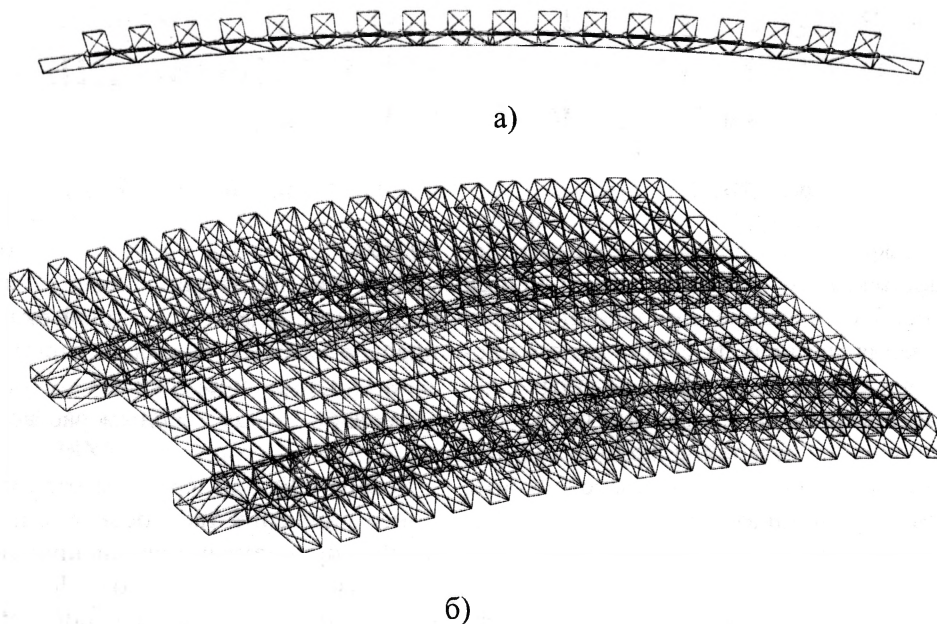


Рис. 4. Остаточные деформации сварной конструкции после конструктивно-технологических изменений

ся коллективов и собственных суперкомпьютеров, которые в совокупности могут обеспечить реальный технологический прорыв в технической подготовке сварных конструкций.

4. Назрела давно необходимость создания новых методических пособий по конструированию сварных конструкций общемашиностроительного применения, ориентированных на специалистов, для которых сварка – лишь один из многих технологических переделов; такие пособия должны быть изначально выполнены в компьютерном виде и размещены в сети INTERNET на сайтах соответствующих отраслевых или ведомственных структур.

Представляется целесообразным использование научно-технического журнала “Инженер-механик”, а также информационные и методические возможности Ассоциации белорусских сварщиков [7], для публикации и обсуждения серии статей, отражающих современные тенденции в создании прогрессивных технологичных сварных

конструкций с использованием информационных технологий проектирования и инженерного анализа. Автор готов принять посильное участие в подобной работе и приглашает к ней заинтересованных специалистов (т. 284 21 67, e-mail: medv @ newman. bas-net.by).

Литература

1. Лохманенко Н. Технологический прорыв: кто не успел, тот опоздал навсегда // Инженер-механик. – 2001. - №4(13). – С.5 – 6.
2. Шелег В.К., Рагунович С.П. О проекте Государственной программы развития порошковой металлургии и сварки в Беларуси на 2001 ... 2005 годы в области сварочного производства // Сварка и родственные технологии. Межотраслевой научно-технический сборник. – Минск: БГ НПКПМ. – 2001. - №4. – С.7 – 26.
3. Медведев С.В. Построение сквозных компьютерных технологий конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций общемашиностроительного назначения // Технология ремонта, восстановления, уп-

рочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 4-й Всероссийской практической конференции 16 – 18 апреля 2003 года. – С – Петербург: С-Петербургский государственный технический университет. – 2002. – С.169 – 174.

4. Медведев С.В. Компьютерные технологии проектирования сборочно-сварочной оснастки. - Минск: Ин - т техн. кибернетики НАН Беларуси. - 2000. - 194 с.

5. Медведев С.В. Компьютерное прогнозирование остаточных деформаций сварных конструкций при технологическом проектировании // Сварочное производство. - 2001. - №8. - С.10 - 18.

6. Медведев С.В., Кункевич Д.П. Опыт эффективного компьютерного проектирования сборочно-сварочного технологического оснащения // Автоматическая сварка. - 2001. - №3. - С.41 - 44.

7. Денисов Л.С. Ассоциация белорусских сварщиков – важное звено технического прогресса // Инженер-механик. – 2002. - №1(14). – С.5 – 6.