

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

По определению знаменитого инженера античности- Марка Витрувия – «Машина есть **деревянное** приспособление, оказывающее величайшие услуги при подъеме грузов» Такое положение сохранялось применительно к несущим конструкциям грузоподъемных кранов до начала 19в. В конце 18в появились комбинированные металло-деревянные конструкции – с растянутыми элементами из железных тяг и чугуными опорные подшипники поворотных кранов, иногда элементы укосин и т.п.

Из дерева с применением металла были изготовлены первые мостовые и козловые краны. Еще в конце 19в из дерева с металлическими подтележечными направляющими выполняли пролетные балки, а концевые – литыми из стали или чугуна. Несмотря на относительно низкие механические характеристики промышленных сортов древесины ($\sigma_b = 30 - 80$ МПа, $\tau_b = 8 - 12$ МПа и уровень расчетных сопротивлений в пределах 1 – 15 МПа), зависимость ее показателей от влажности и сложность сопряжения с механическими элементами, низкая стоимость, доступность и простота обработки этого материала, обусловили использование его в краностроении до 60 – 70 г.г. 20 столетия. При этом конструкции из дерева по понятным причинам чаще применяли в кранах лесной промышленности. Так, до начала 60г.г. в США и Канаде находили применение автомобильные краны г/п до 10 – 15 с деревянными стрелами. В конце 50г.г в Австрии, специалистом, побывавшим в плену в СССР, был построен 10т козловый крана для обслуживания склада леса. Механизмы, специально приспособленные для этого крана, поставила известная фирма Demag. Еще в 80г.г. 20т кабельные краны марки КК-20 поступали на отечественные склады леса. 20м опоры этих кранов были образованы пучка

ми из трех бревен. Необходимо отметить, что в перспективе может оказаться целесообразным использовать более прочные и хорошо воспринимающие динамические нагрузки клееные конструкции, учитывая, также, что древесина по сравнению со сталью, лучше сопротивляется многим химическим воздействиям.

Известны попытки использования железобетона (ж/б) в краностроении. В начале 20в, в Германии, были построены два мостовых крана с ж/б пролетными строениями. В конце 50 г.г., на гребне возникшей не без влияния Н.С. Хрущева моды, предлагалось заменить оболочечные башни 5т башенных кранов МБТК- 80, конструкциями из напряженного ж/б. Более целесообразным представляется использование ж/б элементов в основаниях поворотных стреловых кранов, где важно обеспечить устойчивость против опрокидывания. В небольших башенных кранах БКСМ-4 удалось применить ходовые балки из снабженного соответствующими закладными деталями ж/б. В ФРГ, в 50г.г. изготавливали порталные краны с коробчатыми порталами, полости которых заливались бетоном.

Несмотря на значительный прогресс в создании синтетических материалов, применение их в несущих конструкциях остается крайне ограниченным - достоверно известен только один случай создания небольшого козлового крана из пластмассы. Наиболее перспективным представляется применение обладающих весьма высокими механическими свойствами конструкционных композиционных материалов, в частности, углепластиков. У некоторых из них, при модуле упругости практически одинаковым с модулем упругости стали, величина временного сопротивления в направлении вдоль волокон превышает 1500 МПа, а плотность имеет порядок всего $2т/м^3$. Такие материалы довольно широко применяются для изготовления корпусов судов и других транспортных средств. Однако, они дороги и имеется значительная неоднородность их свойств в зависимости от направления волокон.

В 2000г в ФРГ предложено изготавливать секции телескопических стрел с каркасом из высокопрочной стали и несущей многослойной оболочкой из углепластика. При этом предполагается, что наличие волокнистых слоев будет способствовать интенсивному погашению колебаний стрелы.

В 50-60г.г. большие надежды возлагали на широкое внедрение в краностроении легких сплавов на основе алюминия. Значительный вклад в это сделан институтом ВНИИПТМАШ, где, помимо прочего, впервые разработаны документы, регламентирующие применение алюминия в несущих конструкциях кранов. Бесспорными преимуществами алюминиевых сплавов являются достаточно высокое расчетное сопротивление (порядка 120 – 250МПа) в сочетании с ограниченной плотностью (порядка 2,5 – 2,8 т/м³). Модуль продольной упругости в среднем равен 70000 МПа, материал достаточно пластичен и обладает относительно высокой ударной вязкостью при низких температурах. Для алюминиевых сплавов характерен относительно высокий уровень рассеяния энергии колебаний. Они хорошо поддаются как механической обработке, так и сварке. Высока сопротивляемость атмосферной коррозии. В числе изготовленных в то время крановых конструкций можно упомянуть стрелы 100т башенных кранов и пролетные строения мостовых кранов г/п до 125т.

Для обслуживания подмосковной физической лаборатории по проекту института ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ был изготовлен бесконсольный козловый кран г/п 50т и пролетом 86м.

Весьма эффективным оказалось, в частности, применение алюминия при установки на существующие пути мостовых кранов увеличенной г/п. Однако, в дальнейшем эта тенденция не нашла развития, и в настоящее время легкие алюминиевые сплавы в кранах применяют крайне ограниченно, и преимущественно в вспомогательных элементах (кожухи, ограждения), а также стрелах кранов небольшой г/п. Причинами этого, по всей видимости, являются высокая, по сравнению со сталью, стоимость материала, чувствительность к местным по-

вреждениям, затруднения при ремонтах. Тем не менее, перечисленные выше свойства алюминиевых материалов заставляют считать применение их в краностроении достаточно перспективным.

В конце 18в были усовершенствованы способы получения стали; в начале следующего века начато производство профильной стали. Однако, эффективные способы выплавки стали – мартеновский, бессемеровский и томасовский, были освоены только во второй половине 19в, когда также удалось создать высокопроизводительные прокатные станы. Следствием этого явилось, что с последних годов этого века сталь в краностроении интенсивно вытесняет другие материалы. При этом, например, у мостовых кранов производства США, часто сочетали литые концевые балки с пролетными балками, клепанными из листовой и профильной стали.

Четкая регламентация свойств сталей началась только в первых годах 20в. В первую очередь это относилось к сталям, используемым в мостостроении. первоначально (например, ОСТ 4125) регламентировались только механические свойства сталей; одновременно для ответственных сооружений допускалась сталь, изготовленные только мартеновским и бессемеровским способами. При этом для них предусматривалось применение сталей обычной и повышенной прочности ($\sigma_n = 230$ МПа и 360 МПа), примерно соответствующим существующим маркам Ст3 и Ст5.

К началу 50г.г., в значительной части вследствие аварий ряда полученных по репарациям из Германии кранов, было обращено внимание на хладноломкость стали. Было установлено, что при эксплуатации сварных конструкций значение ударной вязкости не должно быть менее 29 Дж. Как правило, этим требованиям соответствуют малоуглеродистые стали спокойной плавки, а для температур менее минус 30 – 40°С - преимущественно низколегированные стали, что и получило отражение в современных нормах выбора марок сталей.

Для кранов промышленного назначения зачастую не удается использовать повышенную несущую способность низколегированной

стали - в случае расчета элементов конструкций по критериям сопротивления усталости и устойчивости. Однако, для кранов, предназначенных для эксплуатации на открытом воздухе, по температурным ограничениям часто применяют только низколегированные стали.

Тем не менее, для кранов с ограниченной интенсивностью эксплуатации, в особенности высокой г/п и с большими пролетами, часто оказывается целесообразно использовать стали повышенной прочности, что способствует снижению металлоемкости конструкции до 20-30%. В настоящее время традиционными для краностроения являются марганцовистые стали марок 09Г2 и 09Г2С. Однако, в Российской Федерации потребность в марганце удовлетворяется только на 10%, в связи с чем намечается внедрение альтернативных марок. Например, при повышении свойств малоуглеродистых сталей типа Ст 3 с содержанием марганца в пределах 0,65% путем микролегирования нитридами титана и алюминия, а также добавкой $\cong 1\%$ кремния, обеспечивается измельчение зерна, необходимое для повышения ударной вязкости.

В ряде случаев, например, при специальном выполнении сварных соединений, гарантирующим существенное снижение концентрации напряжений, оказывается целесообразным применение сталей с $\sigma_t \geq 390$ МПа – например, термически обработанной стали марки 10ХСНД с повышенной чистотой металла. Здесь следует перейти также к нормированию ударной вязкости на образцах с острым надрезом и по показателю пластических свойств по толщине металла; последнее должно также предотвращать расслоение металла при действии нагрузок, перпендикулярных плоскости листа.

Несмотря на то, что средние значения механических свойств наиболее распространенных малоуглеродистых сталей типа Ст.3 мало менялись в течении уже более столетия, сильно варьировались значения расчетных допускаемых напряжений. Так, по данным различных источников, за последнюю четверть 19в они принимались в пределах 77 – 160 МПа. В краностроении России в начале 20 века допускаемые напряжения были ограничены величиной 100 МПа.

В 20г.г. нормативный уровень основных допускаемых напряжений был поднят до 140 МПа, оставаясь таким до начала 60г.г. Одновременно, для кранов некоторых видов, например, башенных, расчет с начала 50г.г. проводили на основании строительных норм, с величиной допускаемого напряжения в 160 МПа.

В конце 60 – начале 70г.г. начал внедряться метод предельных состояний, причем за основу при расчете стальных конструкций принимались положения Строительных норм и правил (СНиП). Здесь исключено само понятие «допускаемые напряжения»; однако для сопоставления можно принять, что допускаемые значения напряжений для кранов с ограниченной интенсивностью использования могут достигать до 190 – 210 МПа, что имеет место в практике проектирования кранов.

Такое увеличение уровня напряжений стало возможным как вследствие повышения качества стали, так и уточнения методов расчета, включая и определение действующих нагрузок.

Для современных пневмоколесных кранов весьма существенным является требование максимального ограничения массы телескопических стрел, испытывающих преимущественно поперечный изгиб. Поэтому здесь находят применение термообработанные стали особо высокой прочности, с пределом текучести до 960 МПа, относительным удлинением до 14% и температурным пределом использования до минус 70⁰С. Такие стали характеризуются ограниченным содержанием углерода (до 0,18 – 0,20%), марганца и хрома в пределах 1,0 – 1,4%, молибдена – 0,4 – 0,6% и никеля в пределах 2,6%. Предусматривают микродобавки: цирконий, ванадий, медь и пр. Иногда из таких сталей из тех же соображений изготавливают и металлические конструкции рамы ходовой части и поворотной платформы.

Относительно высокая стоимость как самих материалов, так и изготовления из них конструкций, не позволяет считать применение их в кранах промышленного назначения, где отсутствуют жесткие требования к снижению массы, перспективным.

Основным материалом на ближайшие годы должны оставаться малоуглеродистые и низколегированные стали повышенного качества изготовления.

*ОАО «ВНИИПТМАШ»
(095) 351.80.31
И.И.Абрамович*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.

В настоящее время существует ряд расчетных методик определения наиболее рациональных форм и сборочных технологий элементов металлоконструкции (МК), а также способов проектирования как конструкции в целом, так и отдельных ее узлов. Далеко не всегда эти методики учитывают все факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние (НДС) узлов и МК в целом. Одними из наиболее значимых факторов, который начинает оказывать влияние на металлоконструкцию еще до приложения рабочих нагрузок и деформаций, являются поля остаточных напряжений и деформаций.

Остаточные напряжения снижают надежность конструкции, а при низких температурах способствуют хрупкому разрушению даже в ненагруженном состоянии. Неравномерная деформация основных элементов крановых металлоконструкций ухудшает работу механизмов, создавая перекосы ходовых частей, ускоряет их износ и увеличивает расход электроэнергии. Осложняются монтажные работы из-за необходимости применения мероприятий правки. Увеличиваются трудозатраты на сборочно-сварочные работы. При переходе металла в хрупкое состояние остаточные сварочные напряжения играют роль дополнительной нагрузки и, следовательно, увеличивают вероятность хрупких разрушений. Зоны, близкие к сварным швам, являются очагами повышенной конструктивной концентрации напряжений и местами возникновения хрупких и усталостных трещин. Остаточные сварочные напряжения оказывают влияние на усталость соединений. Так для продольных швов МК подъемно-транспортных машин (ПТМ), например, для продольных швов пролетных балок, остаточные напряжения в растянутом участке первоначально равняются напряжению текучести. При нагружении кранов максимальной испытательной нагрузкой начальные напряжения в шве немного уменьшаются за счет