



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με τίτλο

**“Η Εξέλιξη των Υλικών Κατασκευής Οχημάτων τα
τελευταία 50 χρόνια”**



Εισηγητής: Γεώργιος Κοντοδιάκος,

A/M: 07/0063

Επιβλέπων Καθηγητής : Παναγιώτης Ματζίνας,

Επιστημονικός Συνεργάτης

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2013

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Περίληψη	
1.	Εισαγωγή	σελ. 4
2.	Ιστορική Αναδρομή	σελ. 5
2.1	Τα Πρώτα 50 Χρόνια	σελ. 5
2.2	Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η αυτοκινητοβιομηχανία τα τελευταία 50 χρόνια	σελ. 8
3.	Κατασκευές Αυτοκινητοβιομηχανίας	σελ. 13
3.1	Εφαρμογές πάνω στο πλαίσιο- αμάξωμα ενός οχήματος	σελ. 13
3.2	Εφαρμογές πάνω στα υλικά για το εσωτερικό του αυτοκινήτου	σελ. 17
3.3	Εφαρμογές Αμαξωμάτων	σελ. 18
3.3.1	<i>Χρήση αλουμινίου σε καλύμματα αυτοκινήτου (Φτερά-Καπό-Πόρτες)</i>	σελ. 20
3.3.2	<i>Ταχεία πλαστική παραμόρφωση</i>	σελ. 23
3.3.3	<i>Στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης Κυλίνδρου</i>	σελ. 26
3.4	Υδροσχηματισμένες Κατασκευές	σελ. 28
3.5	Ελαφριά Πολυμερή Σύνθετα Υλικά	σελ. 30
4.	Το Μέλλον	σελ. 36
5.	Συμπεράσματα	σελ. 38
6.	Βιβλιογραφία	σελ. 39

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη προσπαθούμε να αποτυπώσουμε την τεχνολογία που εφαρμόζεται στα υλικά πάνω στα οχήματα τα τελευταία χρόνια καθώς και τις διαδικασίες που έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς από σχεδιαστές μεγάλων αυτοκινητοβιομηχανιών. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ακολουθείται ιστορική αναδρομή στην πορεία των υλικών και στους παράγοντες που επηρέασαν κατά καιρούς την επιλογή τους στην εφαρμογή τους στα οχήματα. Ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα εργασία αφορούν στο ποια υλικά προτιμώνται περισσότερο και γιατί? Ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος εφαρμογής τους? Ποιοι παράγοντες καθόρισαν τις προτιμήσεις σε κάποια υλικά έναντι κάποιων άλλων? Και πώς οι παράγοντες αυτοί οδήγησαν στην ανάπτυξη καινοτόμων υλικών και εφαρμογών κατά την παραγωγική διαδικασία.

1. Εισαγωγή

Το αντικείμενο δραστηριότητας των αυτοκινητοβιομηχανιών είναι ιδανική επιλογή για να εξετάσει κανείς την δραματική επίπτωση που έχει επέλθει στην εξέλιξη των υλικών και διαδικασιών παραγωγής σε μια βιομηχανία. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες στις μέρες μας είναι σε θέση να συνδυάσουν υψηλής τεχνολογίας υλικά που εφαρμόστηκαν αρχικά στο τομέα της αεροναυπηγικής καθώς και σε άλλες βιομηχανίες, με υψηλής τεχνολογίας καταναλωτικά προϊόντα μαζικής αγοράς. Παρακάτω, θα αναλυθεί λεπτομερώς πόσες από τις αλλαγές που έχουν εφαρμοστεί στα οχήματα και οι οποίες έχουν προκύψει από τις προαναφερθείσες επιρροές τα τελευταία 50 χρόνια έχουν επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης σημαντικών βελτιώσεων στα υλικά και στις διαδικασίες.



Επομένως, στην παρούσα εργασία θα εξεταστεί πώς αυτές οι δυνάμεις έχουν επιτευχθεί κατά τα τελευταία 50 χρόνια με νέα υλικά και διαδικασίες. Δεδομένου ότι το όχημα είναι μια πολύπλοκη ενσωμάτωση ενός αριθμού των υποσυστημάτων, καθένα από τα οποία εξετάζεται ο τρόπος και ο βαθμός με τον οποίο έχει επηρεάσει και έχει αλλάξει την συμπεριφορά του οδηγού από ότι παλαιότερα, ενώ θα γίνει μνεία στα δομικά υλικά, εστιάζοντας σε σασί, υλικά εσωτερικής επένδυσης του οχήματος, καθώς και τις εφαρμογές τους επάνω στα αμαξώματα.

2. Ιστορική Αναδρομή

2.1 Τα Πρώτα 50 Χρόνια

Τα βασικά υλικά των αυτοκινητοβιομηχανιών είχαν εξελιχθεί σημαντικά στα μέσα του εικοστού αιώνα. Το πρώτο αυτοκίνητο εφευρέθηκε από τον Karl Benz το 1886 (Σχήμα 1) και η βασική αρχή της διαδικασίας κατασκευής αυτοκινήτων με πρώτη γραμμή συναρμολόγησης ξεκίνησε για πρώτη φορά στην πράξη το 1913! *Motorwagen του 1886.*



Σχήμα 1. Benz Patent

Μέχρι το 1950 η μηχανολογία των οχημάτων και η διεργασίες των βιομηχανιών είχαν αναπτυχθεί τόσο ώστε η ανανέωση ενός αμαξώματος ανά έτος να είναι εφικτή ακόμα μέχρι και στο να αναδιατάσσουν νέα μοντέλα σε εκατοντάδες χιλιάδες μονάδες ανά έτος για κάθε τύπο αμαξώματος. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης είχαν προοδεύσει σημαντικά με την General Motors (GM) να καινοτομεί για την εποχή παρουσιάζοντας το 1953 στο Buick Roadmaster (Σχήμα 2) ένα 8 κύλινδρο κινητήρα διάταξης V υψηλής συμπίεσης με επικεφαλής βαλβίδες και ένα μικρότερο κυβισμού V8 για την Chevrolet (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Buick Roadmaster 1953



Σχήμα 3. Κινητήρα διάταξης V8 της GM το 1953

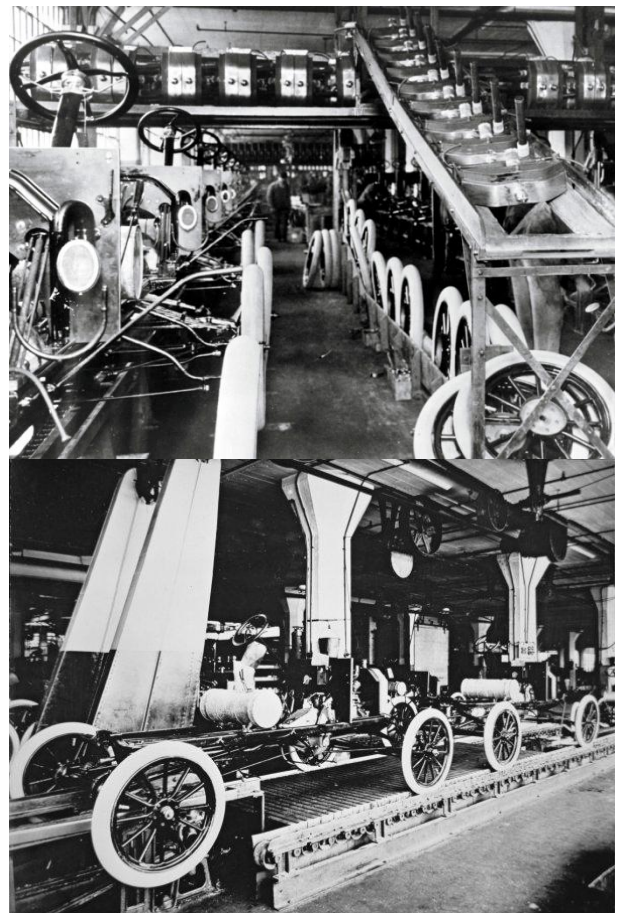
Ο κινητήρας της Chevrolet ήταν 4,3 λίτρων και απέδιδε 195 ίππους η αλλιώς 45 ίππους ανά λίτρο. Εννιά εκατομμύρια κινητήρες προς κατασκευή η αλλιώς τέσσερις γενεές μετά ο V8 αναβαθμίστηκε στα έξι λίτρα με απόδοση στους 400 ίππους ή αλλιώς περίπου 65 με 75 ίππους ανά λίτρο.

Όμως παράλληλα, η ουσιαστική βελτίωση στην απόδοση εξέλιξης του κινητήρα είναι ακόμα πιο εντυπωσιακή αν λάβει κανείς υπόψη ότι το νέφος που σχηματίζουν οι εκπομπές ρύπων (υδρογονανθράκων και οξείδια του αζώτου) έχει μειωθεί κατά 99%.



Σχήμα 4. Henry Ford με την πρώτο αυτοκίνητο παράγωγης το Ford T.

Οι μεγάλες οικονομίες κλίμακας έδωσαν την δυνατότητα στις αυτοκινητοβιομηχανίες να κατασκευάζουν προσιτά αυτοκίνητα ώστε να μεγαλώσουν το πελατολόγιο τους. Ομοίως και ο Henry Ford (Σχήμα 4) σχεδίασε και κατασκεύασε το Model T το 1913, το οποίο ήταν και το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής (Σχήμα 5), έχοντας ως σύνθημα ότι “ένα αυτοκίνητο για μεγάλο πλήθος...σε χαμηλή τιμή ώστε οποιοσδήποτε άνθρωπος με καλό μισθό να είναι σε θέση να αποκτήσει ένα”., ενώ ο Alfred Sloan επικεφαλής της General Motors (GM) δήλωνε ότι “το ιδανικό για την εταιρία είναι να δημιουργεί 'ένα αυτοκίνητο για κάθε τσέπη και για κάθε σκοπό' και κάθε αυτοκίνητο να αντιπροσωπεύει την μεγίστη αξία για την οποία έχει προσφέρει ο πελάτης”.

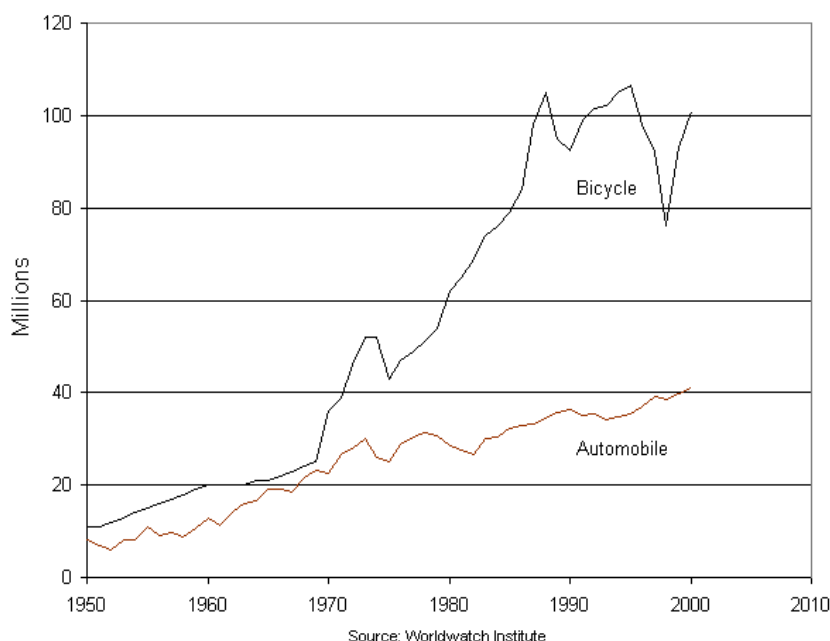


Σχήμα 5. Η πρώτη γραμμή παραγωγής το έτος 1913.

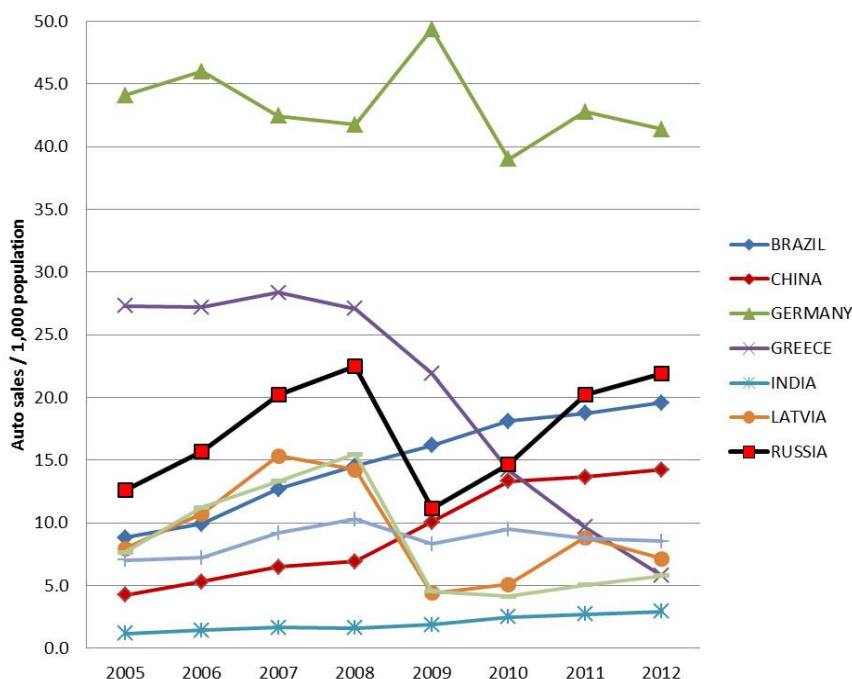
Μέχρι το 1955 στην Αμερική το κόστος για την αγορά μιας βασικής έκδοσης του Chevrolet Bel Air αντιπροσώπευε μόνο 20 εβδομαδιαίους μισθούς, δηλαδή περίπου 1.725 \$. Αυτή η επιχειρηματική καμπάνια αναφορικά με την δυνατότητα προσωπικής μετακίνησης που παρείχε στα μέσα του 1950, οδήγησε την βόρεια αμερικάνικη αυτοκινητοβιομηχανία στην παραγωγή σχεδόν δέκα εκατομμυρίων μονάδων κάθε χρόνο (σε σύγκριση με 14,6 εκατομμύρια που είναι σήμερα).

Η τάση συνεχίζεται ακόμα και στις μέρες μας, παρά το γεγονός ότι έχουν αυξηθεί δραματικά τα υλικά ενός οχήματος, προκειμένου να ικανοποιηθεί αυτή η καταναλωτική, πλέον, συνήθεια μιας και χρειάζεται μόνο 24 βδομάδες από τα έσοδα μια μέσης αμερικάνικης οικογένειας για να αποκτήσει ένα αυτοκίνητο. Η παγκόσμια ιδιοκτησία του οχήματος (global vehicle ownership) αυξήθηκε ακόμα πιο εντυπωσιακά με τις αυτοκινητοβιομηχανίες να παράγουν σχεδόν 66 εκατομμύρια αυτοκίνητα στις μέρες μας σε σύγκριση με 13,5 εκατομμύρια κομμάτια το 1950. Μάλιστα, στα μέσα του 1950 υπήρχαν λιγότερα από 60 εκατομμύρια αυτοκίνητα παγκοσμίως και μόνο το 2% του πληθυσμού ήταν ιδιοκτήτες αυτοκινήτων. Σήμερα, υπολογίζεται περίπου ότι ο αριθμός αυτός έχει ξεπεράσει τα 800 εκατομμύρια, το οποίο συνεπάγεται ότι το 12% του συνολικού πληθυσμού είναι

World Bicycle and Automobile Production, 1950-2000



Auto Sales in Russia & Other Countries, 2005-12



ιδιοκτήτες αυτοκινήτων.

2.2 Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η αυτοκινητοβιομηχανία τα τελευταία 50 χρόνια



Στις αρχές του 1960 η βιομηχανία είχε να αντιμετωπίσει μια σειρά από σημαντικές “εξωτερικές διαφοροποιήσεις” οι οποίες είχαν οδηγήσει σε ριζικές αλλαγές στις αυτοκινητοβιομηχανίες. Αυτές οι εξωτερικές πιέσεις συμπεριλάμβαναν εκπομπές ρύπων, τα οποία σχετιζόνταν με την κατανάλωση ενέργειας, την διαθεσιμότητα, την παθητική ασφάλεια αυτοκινήτων, και πιο πρόσφατα με αυξημένη απαίτηση των καταναλωτών για πιο εξατομικευμένα προϊόντα. Πολλές από αυτές τις αλλαγές στα οχήματα μας, οι οποίες προέκυψαν από αυτές τις κομβικές επιρροές, πραγματοποιήθηκαν μέσω της εξέλιξης των υλικών πάνω στα οχήματα άλλα και των διαδικασιών παραγωγής. Στις αρχές του 1950, η εμφάνιση/ σχεδιασμός και οι επιδόσεις ενός οχήματος ήταν το κλειδί που έκανε την διαφορά στο αυτοκίνητο για να είναι ελκυστικό προς το αγοραστικό κοινό. Αυτή η συνταγή της επιτυχίας λειτούργησε σωστά για την αυτοκινητοβιομηχανία μέχρι τα μέσα του 1960, όταν ο Ralph Nader άλλα και άλλοι υποστηρικτές των καταναλωτών άρχισαν να στρέφουν την προσοχή των αυτοκινητοβιομηχανιών προς την κατεύθυνση της παθητικής ασφάλειας του οχήματος.



Αποτελέσματα έρευνας και ανάπτυξης της παθητικής ασφάλειας ενός Audi A4 μεταξύ 1998 και 2006.



Με ιδιαίτερα αυξημένο προσανατολισμό προς την παθητική ασφάλεια οδήγησαν στη δημιουργία καινοτομιών της εποχής όπως τα συστήματα απορρόφησης (Σχήμα 6) ενεργείας καθώς και κατασκευές και υλικά, τα οποία εισήχθησαν μέσα στο αμάξωμα του οχήματος προκειμένου να προστατεύσουν τους επιβαίνοντες σε περίπτωση σύγκρουσης.



Σχήμα 6. Ένα από τα συστήματα απορρόφησης ενέργειας τα Crash Box.

Αυτές οι αλλαγές οδήγησαν σε πιο απαιτητικές προδιαγραφές των οχημάτων και αύξησαν την περιπλοκότητα των μηχανολογικών τεχνολογιών που εφαρμόζονταν πάνω στο όχημα. Ακολουθώντας το διεθνές κάλεσμα για την ενίσχυση της ασφάλειας, ο Οργανισμός των Κρατών Εξαγωγής Πετρελαίου (ΟΠΕΚ) οδήγησε στην κρίση πετρελαίου το 1973 μέχρι το 1979 με αποτέλεσμα οι τιμές πετρελαίου και βενζίνης να αυξηθούν δραματικά με συνέπεια οι αυτοκινητοβιομηχανίες να αναζητήσουν τρόπους αύξησης της οικονομίας καυσίμου. Ένας σημαντικός παράγοντας και μονόδρομος για την βελτίωση της αποδοτικότητας του οχήματος και κατ' επέκταση, τη μείωση την κατανάλωσης καυσίμου, είναι η μείωση του βάρους. Για ένα μεσαίου μεγέθους οικογενειακό αυτοκίνητο το οποίο ζυγίζει 1450kg, απαιτείται μια μείωση της μάζας του της τάξεως των σαρανταπέντε κιλών (45kg) προκειμένου να επιτευχθεί μια μείωση 0,6 μιλίων ανά γαλόνι (mile/gallon) στην



κατανάλωση καύσιμου.

Για ευκολότερη μείωση του βάρους του οχήματος οι βιομηχανίες άλλαξαν την αρχική σχεδίαση αμαξώματος από σώμα και πλαίσιο BOF “Body on frame” (Σχήμα 7) ξεχωριστά σε μια πιο αποδοτική αρχιτεκτονική για μείωση του βάρους ενσωματώνοντας το πλαίσιο και το κυρίως σώμα BFI “Body frame integral” (Σχήμα 8) σαν ένα. Με την αρχιτεκτονική BFI όλα τα μέρη του οχήματος συνεισφέρουν καλύτερα στην ακαμψία και τις επιδόσεις του. Την ίδια ώρα, ελαφριά υλικά άρχισαν να αντικαθίστανται από κατασκευές από χάλυβα χαμηλού άνθρακα (low Carbon steel), οι οποίες κυριάρχησαν στην δομή του αυτοκινήτου. Με αυτή τη νέα αρχιτεκτονική πλαισίου και τις περίπλοκες μηχανολογικές τεχνολογίες για την παθητική ασφάλεια του οχήματος, έγινε δυσκολότερο στο να πραγματοποιηθούν αισθητικές αλλαγές επάνω στο όχημα και ως εκ τούτου, άρχισε να απαιτείται περισσότερος χρόνος για μια ανανέωση του σχεδιασμού του οχήματος.



Σχήμα 7. Αρχιτεκτονική αμαξώματος BOF

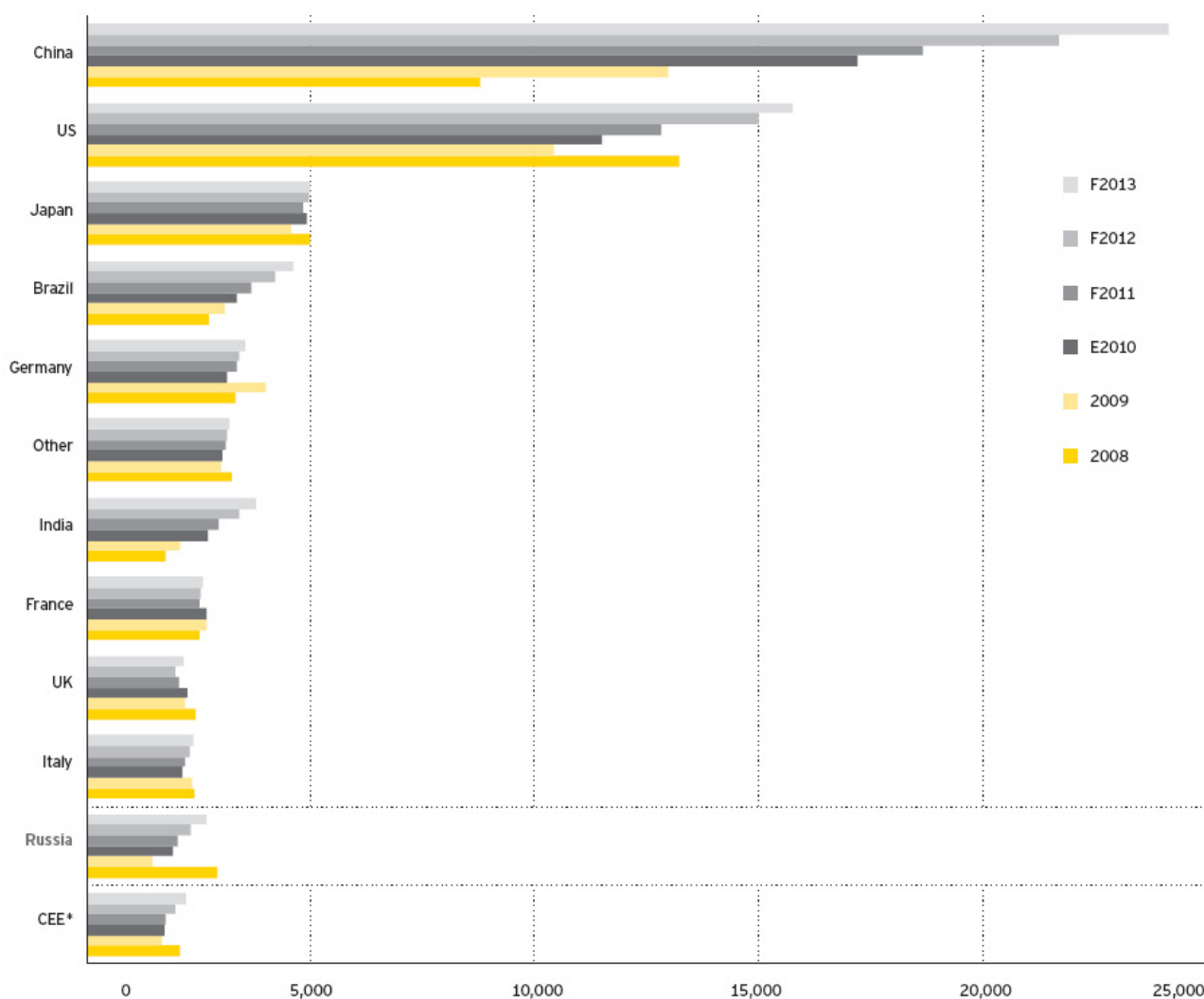


Σχήμα 8. Αρχιτεκτονική αμαξώματος BFI

Με την σημερινή επέκταση της ποικιλίας των αυτοκινήτων, πολλές αρχιτεκτονικές αμαξώματος είναι τώρα ποια εφικτές με την πάροδο των χρόνων και της τεχνολογίας, σε μεγαλύτερο εύρος αυτοκινήτων, από μικρών διαστάσεων σπορ αυτοκινήτων μέχρι μεγάλων διαστάσεων BFI (Body Frame Integral) επιβατικών αυτοκινήτων και BOF (Body On Frame) βαρέων οχημάτων (φορτηγών) απαιτώντας πολλά διαφορετικά υλικά και μεθόδους κατασκευής. Ενώ πολλά αμάξια εφαρμόζουν την BFI αρχιτεκτονική στις μέρες μας, τα βαρέα οχήματα (φορτηγά) επιμένουν στην BOF αρχιτεκτονική γιατί αυτή η κατασκευή είναι ιδανική για φόρτωμα και ρυμούλκηση βαρέων αντικειμένων ενώ θεωρείται και ο πιο διαδεδομένος τύπος αμαξώματος σε αυτό το τμήμα της αγοράς. Μάλιστα, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη αρχιτεκτονική αμαξώματος για κάθε τύπου οχήματος. Το εύρος των αρχιτεκτονικών που έχουν χρησιμοποιηθεί για αμαξώματα από αλουμίνιο, παραδείγματος χάριν, οφείλεται στο γεγονός ότι το αλουμίνιο είναι ιδιαίτερα δεκτικό σε εναλλακτικές διαδικασίες παραγωγής. Την δεκαετία του 1990 διευρύνθηκε και ο μεγάλος ανταγωνισμός. Η ανάπτυξη της παγκόσμιας βιομηχανίας, καθώς και ο μεγαλύτερος αριθμός των μεγάλων παγκόσμιων κατασκευαστών οδήγησε

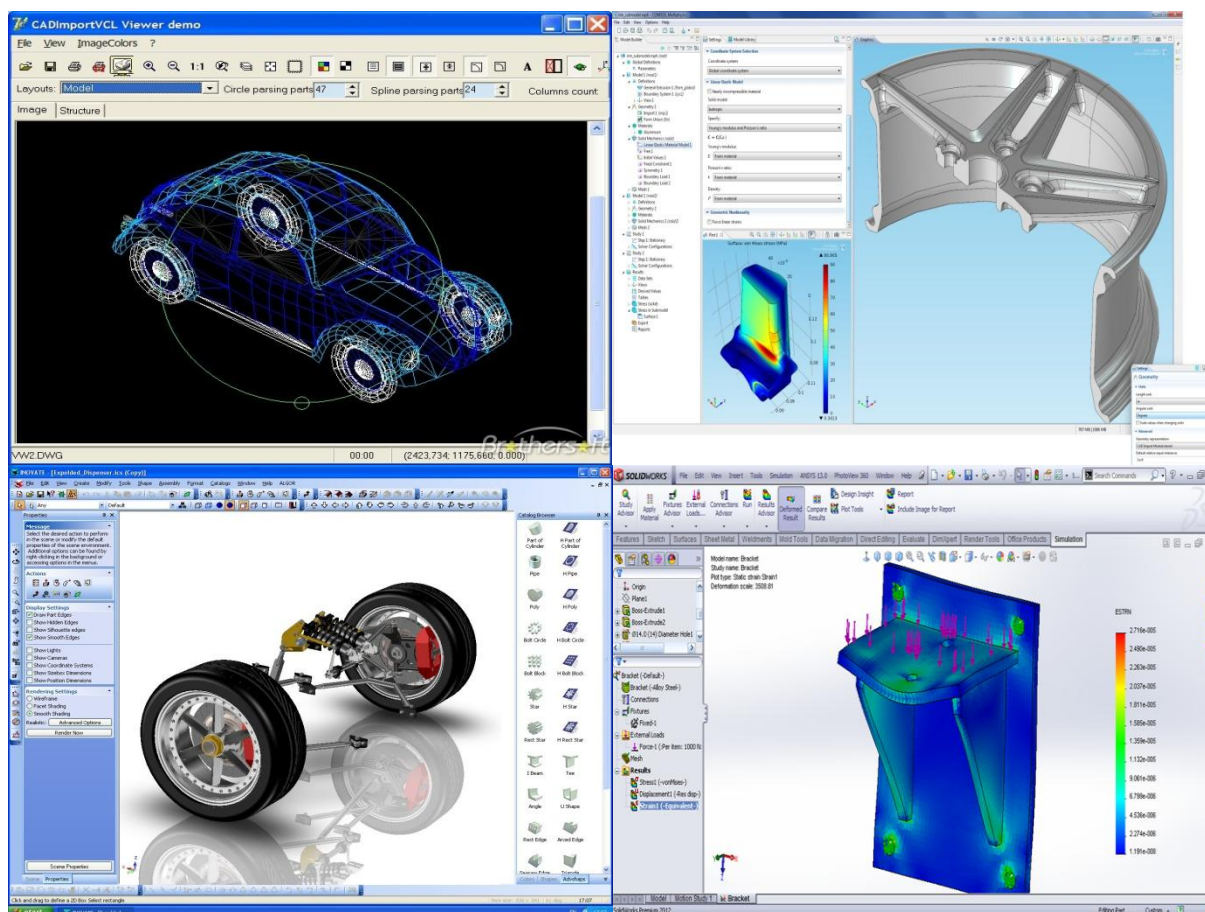
στην παράγωγη περισσότερων μοντέλων που προσφέρονται σε κάθε αγορά και, αναπόφευκτα, με εντυπωσιακά λιγότερες μονάδες ανά μοντέλο σε σύγκριση με τα πολύ υψηλά ποσοστά που παράγονταν σε προηγούμενες δεκαετίες.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, για παράδειγμα, η βιομηχανία πλησιάζει γρήγορα 400 συμμετοχές, λίγο λιγότερο από τριακόσιες στα μέσα της δεκαετίας του 1990, μια αύξηση που μεταφράζεται σε εικοσιπέντε τοις εκατό (25%) σε μια περίοδο δέκα ετών. Στην Κίνα, η αλλαγή είναι ακόμη πιο εντυπωσιακή, με τον αριθμό των συμμετοχών αναμένεται να τετραπλασιάσει σε πάνω από 250 συμμετοχές το 2010. Με περισσότερες συμμετοχές, οι πωλήσεις ανά εισόδο τείνει προς τα κάτω στις πιο ώριμες αγορές, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ευρώπη, όπου η μετάβαση από την παραγωγή άνω των 50.000 μονάδων το 1995 σε περισσότερο σε 45.000 μονάδες σήμερα αναδεικνύεται σε μείζων ζήτημα. Και ενώ οι πωλήσεις ανά εισόδο είναι σε άνοδο στις αναδυόμενες αγορές, αντανακλώντας την ταχεία ανάπτυξη σε αυτούς τους τομείς, η μόνη αναπτυσσόμενη χώρα όπου οι πωλήσεις της αναμενόταν να κορυφωθούν στις 40.000 ανά εισόδο μέχρι το 2010 ήταν η Κίνα.



Ο συνδυασμός των πιο πολύπλοκων τεχνικών απαιτήσεων και μια άκρως ανταγωνιστική αγορά,

έχει οδηγήσει στην ανάγκη για την πρόοδο σε αποτελεσματικότερα και ταχύτερα εργαλεία στην μηχανολογία κατασκευής οχημάτων. Με την ταχεία αύξηση της τεχνολογίας των υπολογιστών κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών, υπήρξε μια εικονική επανάσταση στο σχεδιασμό των οχημάτων με την βοήθεια προγραμμάτων όπως το CAD (Computer Aided Design) αλλά και σύγχρονα εργαλεία κατασκευής στη βιομηχανία. Ως αποτέλεσμα, η σημερινή διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος εξαρτάται πολύ περισσότερο από την εικονική κατασκευή πρωτοτύπων χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις βασισμένες στα μαθηματικά, παρά την “εξέταση” των φυσικών υλικών.



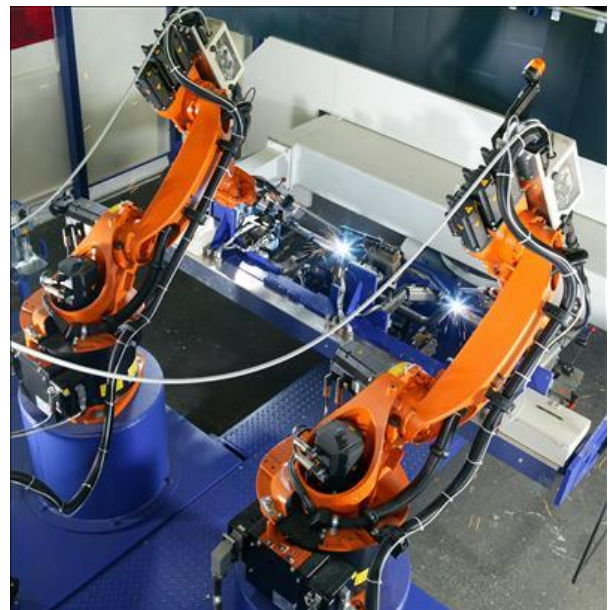
Σχήμα 9. Εφαρμογές CAD

Η βιομηχανία είχε τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την ανάπτυξη νέων συστημάτων μετάδοσης κίνησης μέσω της εφαρμογής των μαθηματικών με βάση το σχεδιασμό CAD (Σχήμα 9), την ανάπτυξη μηχανολογίας, την κατασκευή πρωτοτύπων, και την εξέλιξη του εξοπλισμού. Πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν σήμερα επίσης επαναχρησιμοποιήσιμα πρότυπα σχεδίασης για την αυτοματοποίηση του σχεδιασμού και των μηχανολογικών μερών, προκειμένου να επιτύχουν την περαιτέρω επιτάχυνση της ανάπτυξης. Ο πολλαπλασιασμός των μοντέλων έχει επίσης, οδηγήσει σε δραματικές αλλαγές στα εργοστάσια αυτοκινήτων ιδίως σε ότι αφορά στην ευελιξία και στην αυτοματοποίηση. Ένας σημαντικός

καταλύτης υπήρξε η εισαγωγή της ρομποτικής στο εργοστάσιο. Σήμερα, ένα τυπικό εργοστάσιο συναρμολόγησης αμαξωμάτων θα έχει 500 με 600 ρομπότ, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την ένωση δηλαδή, συγκόλληση επιτόπου (Σχήμα 11), αλλά και για τη μετακίνηση υλικών στη θέση τους. Το βαφείο θα έχει άλλα 30 με 40 ρομπότ (Σχήμα 10), και το υπόλοιπο των εγκαταστάσεων θα έχει κάποια επιπλέον ρομπότ για το χειρισμό και τη διανομή των υλικών. Ποιο πρόσφατα βλέπουμε πολλαπλών ενεργειών ρομπότ όπως τα C-Flex της εταιρίας General Motors, τα οποία είναι προγραμματισμένα για την κατασκευή του αμαξώματος, και ειδικότερα επιτρέπουν τη συγκόλληση πολλαπλών σημείων του αμαξώματος με τα ίδια ρομπότ.



Σχήμα 10. Ρομπότ βαφίματος



Σχήμα 11. Ρομπότ συγκόλλησης

Συνοπτικά λοιπόν, οι βασικές αλλαγές που επηρεάζουν τα αυτοκίνητα έχουν να κάνουν με:

α) Την πίεση για τη βελτίωση της οικονομίας καυσίμου, η οποία αποτελεί και την κινητήριο δύναμη για την αποδοτικότητα του βάρους, οδηγώντας έτσι στην μεγαλύτερη χρήση ελαφρών υλικών.

β) Η μείωση του αριθμού των μονάδων ανά μοντέλο είναι η κινητήριος δύναμη της αποδοτικότητας των επενδύσεων και τον ταχύτερο κύκλου εργασιών των προϊόντων του εργοστασίου.

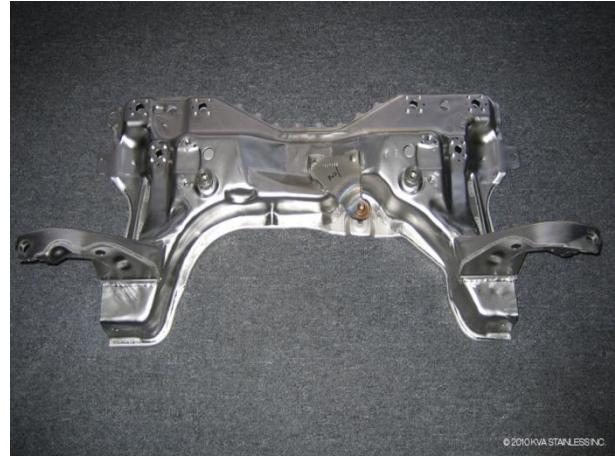
3. Κατασκευές Αυτοκινητοβιομηχανίας

3.1 Εφαρμογές πάνω στο πλαίσιο- αμάξωμα ενός οχήματος.

Η ελαφριά και αποδοτική δομή ενός πλαισίου αμαξώματος αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την επίδοση βασικών χαρακτηριστικών ενός οχήματος συμπεριλαμβανομένου της οδηγικής συμπεριφοράς, του άμεσου ελέγχου στο χειρισμό του οχήματος αλλά και τον έλεγχο του θορύβου και των κραδασμών.

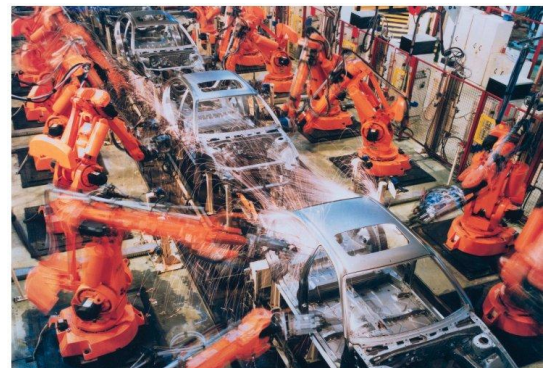


Σχήμα 12. Βάση από λαμαρίνα (48 κομμάτια και 28kg)



Σχήμα 13. Βάση από αλουμίνιο (17 κομμάτια και 18kg)

Στο σχήμα 12,13 βλέπουμε πώς, με την πάροδο των δεκαετιών, νέα τεχνολογίας κατασκευής κραμάτων αλουμινίου / μαγνησίου επέτρεψαν τη μείωση του βάρους και τη βελτίωση της απόδοσης και της παραγωγικότητας στην μπροστινή βάση του αμαξώματος. Η πρώτη εξ ολοκλήρου σφυρήλατη βάση αλουμινίου εφαρμόστηκε από την GM το 1999 στο μοντέλο “Chevy Impala”. Αποτελείται από δεκαπέντε δοκούς και δύο πρεσσαριστά κομμάτια και ζυγίζει δεκαοχτώ κιλά (18kg) σε σύγκριση, με μια τυπική κατασκευή από λαμαρίνα (φύλλα χάλυβα) που αποτελείται από σαρανταοκτώ κομμάτια και ζυγίζει εικοσιοκτώ κιλά (28kg). Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση προηγμένης ρομποτικής τεχνολογίας συγκόλλησης αλουμινίου (δηλαδή παλμική μετάλλου αερίου συγκόλληση τόξου), η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ένωση πολύπλοκων κατασκευών, το οποίο οδήγησε με την σειρά του κατά μήκος μιας γραμμής συγκόλλησης 40 ρομποτικών συγκολλητών σε τέσσερα σημεία συγκόλλησης.



Πρόσθετες εξελίξεις περιλαμβάνουν κοίλα τεμάχια λεπτού τοιχώματος χύτευσης αλουμινίου, τα οποία έχουν κάνει το σχεδιασμό βάσης αλουμινίου πιο αποτελεσματική και με μειωμένες απαιτήσεις συγκόλλησης. Ένα καλό παράδειγμα είναι η κοίλα χύτευσης συγκολλημένη με εξώθηση βάση για την επόμενη γενιά Cadillac CTS (Σχήμα 13) της οποίας η παραγωγή ξεκίνησε το 2007. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή λεπτού τοιχώματος (4mm) κοίλα χύτευσης για αυτή τη βάση είναι μια τροποποιημένη χαμηλής πίεσης διαρκή διαδικασία δημιουργίας καλουπιού (μέσω χαμηλότερης ανύψωσης και χαμηλότερης πίεσης) στο οποίο ένα ατσάλινο καλούπι τροφοδοτείται από μια χοάνη. Το κενό αέρος που δημιουργείται λόγω υποπίεσης αφαιρεί τα αέρια από το καλούπι και αρχίζει το γέμισμα. Πίεση στη συνέχεια προστίθεται προκειμένου να γεμίσει την κοιλότητα και να αρχίσει η συρρίκνωση, παράγοντας εξαιρετικά καλής ποιότητας χύτευση με πολύ χαμηλά πορώδη επίπεδα (<0,5 τοις εκατό) και καλή ικανότητα συγκόλλησης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί πλήρως για παραγωγή μεγάλης ποσότητας.



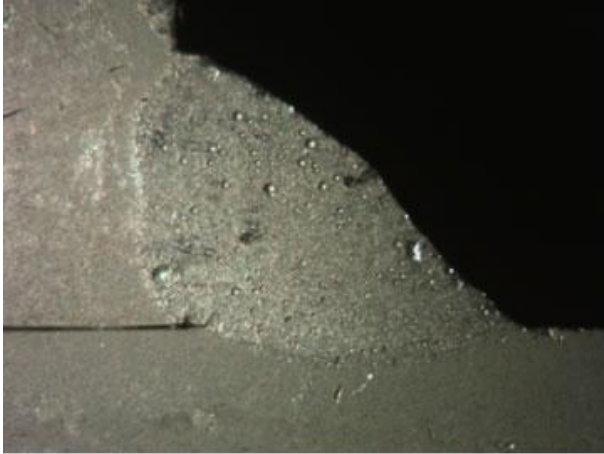
Σχήμα 12. Μηχάνημα χύτευσης υψηλής πίεσης



Σχήμα 13. Cadillac CTS 07'

Μια άλλη σημαντική διαδικασία ανάπτυξης είναι η διαδικασία χύτευσης καλουπιού υψηλής πίεσης, (Σχήμα 12) η οποία προσφέρει ελκυστική ευελιξία στο σχεδιασμό και στην κατασκευή. Με τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα κράματα μαγνησίου και αλουμινίου στο σφράγισμα καλουπιών, αυτή η διαδικασία επιτρέπει να παράγονται οικονομικά μεγάλες, λεπτού τοιχώματος πολυσύνθετες ελαφριών μετάλλων χυτεύσεις, διευκολύνοντας έτσι την αντικατάσταση των χαλύβδινων κατασκευών, οι οποίες διακρίνονται από πολυάριθμες αποτυπώσεις και συγκολλήσεις. Παρά την υψηλή παραγωγικότητα (Τυπική περίοδος χρόνου ενός λεπτού) το μεγαλύτερο μειονέκτημα της τυπικής μεθόδου χύτευσης μήτρας υψηλής πίεσης είναι το πορώδες υλικό που προκύπτει από τα παγιδευμένα αέρια, ως αποτέλεσμα της έγχυσης του τηγμένου μετάλλου με μεγάλη ταχύτητα μέσα στην κοιλότητα της μήτρας.

Το ζήτημα της πορώδους εικόνας δεν είναι τόσο σημαντικό για τα τμήματα λεπτού τοιχώματος με πάχος 2,5 χιλιοστά, όπου οι μηχανικές ιδιότητες επιτυγχάνονται σε μεγάλο βαθμό από την ελεύθερη κίνηση των λεπτόκοκκων επάνω στις επιφάνειες του υλικού. Όταν παχύτερα τοιχώματα χρειάζονται για μεγαλύτερη ακαμψία και αντοχή σε σασί ή σε εφαρμογές επάνω στο αμάξωμα η επίδραση της πορώδους εικόνας (Σχήμα 14) στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού (ειδικά στην ολκιμότητα και την αντοχή σε κόπωση) αποκτά μεγαλύτερη σημασία.



Σχήμα 14. Πορώδες σε παχύτερα τοιχώματα σασί

Το καλούπι χαρακτηρίζεται από την χρήση ελεγχόμενης χοάνης για την εξαγωγή των αερίων από τις κοιλότητες των καλουπιών, τα συστήματα οδηγών και από σφαιρικά χιτώνια κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Η τεχνολογία αυτή διευρύνει τις δυνατότητες της τυπικής χύτευσης, διατηρώντας παράλληλα τα οικονομικά της οφέλη. Η πρώτη εφαρμογή σε βιομηχανία προήλθε από τον όμιλο GM (General Motors) και συγκεκριμένα στην Chevrolet Corvette Z06 του 2006 όπου η βάση του κινητήρα είναι εξ ολοκλήρου από μαγνήσιο (Σχήμα 15) δημιουργημένο από ένα ενιαίο καλούπι με βάρος μόλις 10,5 κιλά, δηλαδή εξοικονόμησης μάζας της τάξεως του 35% έναντι της βάσεως κινητήρα, η οποία είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο και την οποία και αντικατέστησε. Όπως φαίνεται, η προηγμένη προσομοίωση πλήρωσης καλουπιών και στερεοποίηση έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την καθοδήγηση του σχεδιασμού και της διαδικασίας ελέγχου για μεγάλες και μικρές μεθόδους χύτευσης.

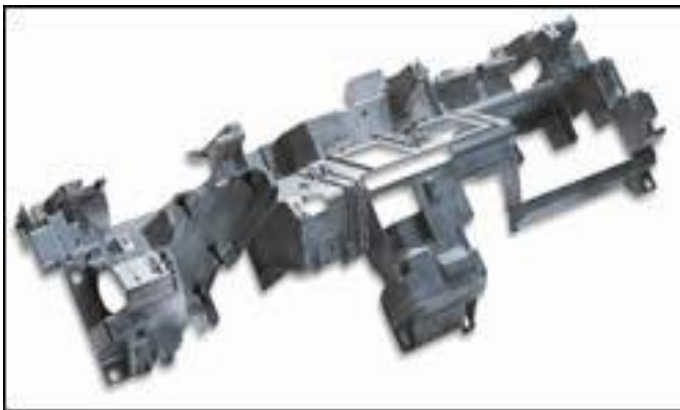


Σχήμα 15. Βάση κινητήρα από μαγνήσιο (1 κομμάτι/10kg)

3.2 Εφαρμογές πάνω στα υλικά για το εσωτερικό του αυτοκινήτου



Το ταμπλό ενός οχήματος (instrument panel ή IP) είναι αισθητικά το πιο σημαντικό εσωτερικό τμήμα άλλα κυρίως λόγω μεγέθους αλλά και βάρους, για αυτό και πρέπει να δοθεί, ιδιαίτερη σημασία. Ένας τυπικός σκελετός για ταμπλό από λαμαρίνα (φύλλα χάλυβα) πριν από δέκα χρόνια αποτελούνταν από 30 περίπου κομμάτια. Το 1996, η GM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παραγωγή κομματιών χύτευσης από μαγνήσιο, συγκεκριμένα μονοκόμματος ενιαίος σκελετός (Σχήμα 16) για τα ταμπλό στα GMC Savana και τα επαγγελματικά φορτηγά Chevrolet Express (Σχήμα 17) . Εκτός από τη μείωση του βάρους και πιο συγκεκριμένα 12,3 kg λόγω κατασκευής από μαγνήσιο έναντι



Σχήμα 16. μονοκόμματος ενιαίος σκελετός από μαγνήσιο



Σχήμα 17. Chevrolet Express

18,2 kg από λαμαρίνα(φύλλα χάλυβα), παρουσιάζεται και ανασχεδιασμός στην κατασκευή του ταμπλό (IP) από μαγνήσιο όπου επιφέρει βελτιωμένη αντοχή στις συγκρούσεις, μειωμένους κραδασμούς και την εξοικονόμηση κόστους λόγω ενοποίησης τμημάτων.

Πιο αποτελεσματικά σχέδια από μαγνήσιο έχουν επιτύχει τα τελευταία μοντέλα της GM τα οποία

οδηγούν σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση μάζας και ενοποίησης μερών, όπως σε δοκούς από το σκελετό να ζυγίζουν μόλις 5,8 kg για αυτοκίνητα της GM μεσαίου μεγέθους.

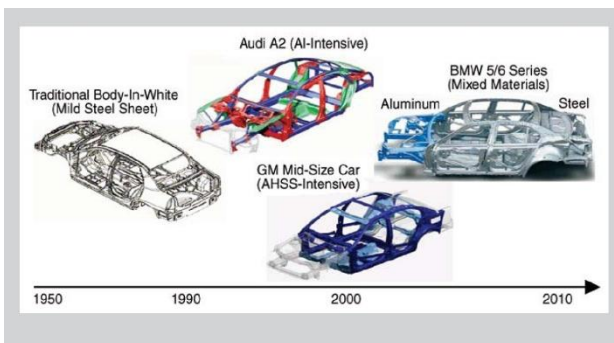
Η χρήση μαγνησίου σε δοκούς ωστόσο, αντιμετωπίζει σήμερα ισχυρό ανταγωνισμό γιατί χρησιμοποιώντας δοκούς από χάλυβα έναντι μαγνησίου το βάρος είναι μεν μεγαλύτερο αλλά σχεδόν αμελητέο, ωστόσο είναι σημαντικά λιγότερο δαπανηρό. Σωληνοειδής σχέδια από μαγνήσιο σε ταμπλό επίσης θα διερευνηθούν για μελλοντική ανάπτυξη. Ένα υβριδικό σχέδιο βάσης για ταμπλό, το οποίο χρησιμοποιεί ένα σωληνωτό πλαίσιο χύτευσης μαγνησίου είναι 55% ελαφρύτερο από χάλυβδινο σωληνωτό σχέδιο και 30% ελαφρύτερο από το ενός κομματιού χύτευσης μαγνησίου που είδαμε παραπάνω, με ισοδύναμη ακαμψία.



(Πρωτότυπη υβριδική βάση για ταμπλό.)

3.3 Εφαρμογές Αμαξωμάτων

Κατά τα τελευταία 50 χρόνια, όλες οι κατασκευές αμαξωμάτων των επιβατικών αυτοκινήτων έχουν μεταβεί από εξ ολοκλήρου λαμαρίνα (φύλλα χάλυβα) σε μικτά υλικά (Σχήμα 18) μια μετάβαση που επίσης έχει επηρεαστεί από προηγμένες τεχνολογικές κατασκευές. Στη δεκαετία του 1990, τεχνολογίες όπως η ανάπτυξη της χύτευσης αλουμινίου, εξώθηση, συγκόλληση σε συνδυασμό με



Σχήμα 18. Η εξέλιξη των υλικών του αμαξώματος

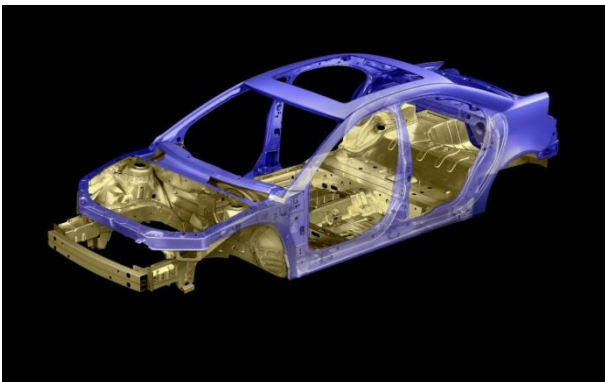


Σχήμα 19. Acura NSX 91'

την δημιουργία ειδικών κραμάτων αλουμινίου, όπως AURAL-2 και Magsimal-59 ήταν καίριας σημασίας για την εφαρμογή σε αυτοκίνητα όπως το Audi A8/A2 , Acura NSX (Σχήμα 19) και

Jaguar XJ. Κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, η βιομηχανία χάλυβα έχει κάνει σημαντικές προόδους σε κράματα χάλυβα. Πολλές προηγμένες εφαρμογές υψηλής ποιότητας αντοχής χάλυβα είχαν αναπτυχθεί στην αυτοκινητοβιομηχανία συμπεριλαμβανομένης της υψηλής αντοχής αλλά χαμηλής περιεκτικότητας κραμάτων χάλυβα (HSLA), διπλής φάσης χάλυβα, (ένα μείγμα κυρίως μαλακού φερρίτη και σκληρού μαρτενσίτη, πιθανώς με κάποιο βαινίτη) όπου προκαλεί μεγάλη ελαστικότητα με πολύ υψηλή αντοχή σε εφέλκυσμό (600 MPa) και επιμήκυνση έως 36% χωρίς να χάσει τις ιδιότητες του. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτοί οι χάλυβες προσφέρουν μόνο ελαφρώς λιγότερη μείωση της μάζας σε σχέση με το αλουμίνιο, αλλά με μικρότερο κόστος. Προηγμένες τεχνολογίες χάλυβα υψηλής αντοχής όπως αναφέρθηκε παραπάνω εφαρμόστηκαν σε πάντως τύπου οχήματα ακόμα και σε πολυτελή βάρια οχήματα όπως η BMW 7-Series και το Lexus LS430.

Η κατασκευή αμαξώματος διάταξη έψιλον της GM όπου φαίνεται στο Σχήμα 20 είναι μια υψηλού όγκου παγκόσμια αρχιτεκτονική όπου αντιπροσωπεύεται από το Chevrolet Malibu στη Βόρεια Αμερική. Δημιουργήθηκε το 2003, και θεωρείται το πρώτο όχημα της GM που έκανε εκτεταμένη χρήση της προηγμένης τεχνολογίας υψηλής αντοχής χάλυβα. Η δομή του αμαξώματος που χρησιμοποιείται σε μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητα της GM στις μέρες μας (Malibu, Pontiac G6, και το Saturn Aura) κάνουν εκτεταμένη χρήση υψηλής αντοχής χάλυβα συγκεκριμένα στα αμαξώματα περιλαμβάνεται 5% HSLA (υψηλής αντοχής αλλά χαμηλής περιεκτικότητας κραμάτων χάλυβα) και 12% διπλής φάσης χάλυβα (μείγμα κυρίως μαλακού φερρίτη και σκληρού μαρτενσίτη, πιθανώς με κάποιο βαινίτη). Τέλος αναμένεται ότι η μελλοντική δομή (Σχήμα 21) του αμαξώματος σε μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητα θα περιέχει 35 τοις εκατό διπλής φάσης χάλυβα (μείγμα κυρίως μαλακού φερρίτη και σκληρού μαρτενσίτη, πιθανώς με κάποιο βαινίτη) και 8 τοις εκατό χάλυβες μαρτενσίτη.



Σχήμα 20. Κατασκευή αμαξώματος διάταξη έψιλον



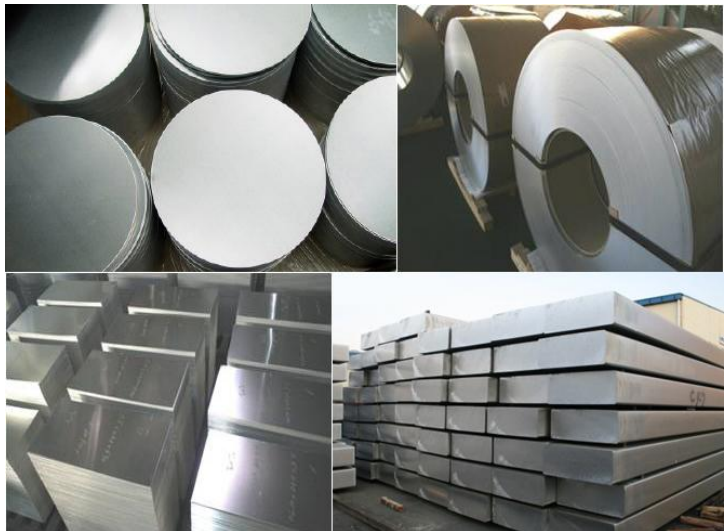
Σχήμα 21. Σύγχρονη δομή αμαξώματος BMW 5-Series

3.3.1. Χρήση αλουμινίου σε καλύμματα αυτοκινήτου (Φτερά-Καπό-Πόρτες)



Κομμάτια του οχήματος, όπως κουκούλες, πόρτες, πορτ παγκαζ και φτερά κατασκευάζονται συνήθως από ψυχρής έλασης χάλυβα, το οποίο έχει εξαιρετική δύναμη και δυνατότητα μορφοποίησης. Αυτά τα χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με το σχετικά χαμηλό κόστος και την ευκολία σε πρεσάρισμα, κάνουν το υλικό αυτό να είναι κατάλληλο για υψηλό όγκο παραγωγής. Ενώ η εφαρμογή του χάλυβα είναι ευρέως διαδεδομένη σε εξαρτήματα του αυτοκινήτου όπως είναι

οι κουκούλες, πόρτες, πορτ παγκαζ και φτερά, η χρήση ελαφρών φύλλων αλουμινίου έχει αυξηθεί τα τελευταία 30 χρόνια. Καλύμματα αλουμινίου παρέχουν 35-50 τοις εκατό μείωση του βάρους σε σύγκριση με παρόμοια καλύμματα χάλυβα. Ωστόσο, σε αντίθεση με τις εφαρμογές από χυτό αλουμίνιο που περιγράφονται σε προηγούμενα άρθρα, η διεξόδυση των φύλλων αλουμινίου δεν



είναι ευρέως διαδεδομένη, επειδή η πρώτη ύλη είναι δύο έως τρεις φορές πιο δαπανηρή από ότι το ατσάλι ενώ επίσης δεν διαμορφώνεται εύκολα. Ένα σύνθετο μέρος, όπως μια πόρτα ή ένα πορτ παγκαζ πρέπει να επανασχεδιαστεί ή να κατασκευαστεί σε πολλαπλά τεμάχια και μετά να συναρμολογηθεί, επειδή το αλουμίνιο δεν μπορεί συμβατικά να πρεσαριστεί σε περίπλοκα σχήματα.

Παρά αυτές τις προκλήσεις, τα φύλλα αλουμινίου έχουν μακρά ιστορία στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το 1909 το Model T Touring κατασκευάστηκε με καλύμματα από αλουμίνιο, και κουκούλες αλουμινίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλά μοντέλα Ts (Σχήμα 22,23). Πολλά πλαίσια κλεισίματος έγιναν με φύλλα



Σχήμα 22.



Σχήμα 23.



Σχήμα 24.

αλουμινίου σε αυτό το χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας κράματα της σειράς 1xxx ή 3xxx, τα οποία έχουν καλή δυνατότητα μορφοποίησης αλλά χαμηλή αντοχή. Το κοινό θέμα σε αυτές τις πρώτες εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία ήταν ο χαμηλός όγκος παράγωγης, όπου η διαμόρφωση των κομματιών του οχήματος όπως κουκούλες, πόρτες, πορτ παγκαζ και φτερά βασιζόνταν καθαρά σε χειροτεχνίες (Σχήμα 24). Καθώς το μέγεθος παράγωγης αυξήθηκε μετά το Α' παγκόσμιο πόλεμο, ο χάλυβας έγινε το βασικό υλικό στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Χαλύβδινα φύλλα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά μέχρι την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970 όπου οδήγησε τις αυτοκινητοβιομηχανίες να διευρύνουν ακόμα περισσότερο την μείωση του βάρους προκειμένου να βελτιώσουν την οικονομία καυσίμου. Φύλλα αλουμινίου άρχισαν να επανεισάγονται στα τέλη της δεκαετίας του 1970, κυρίως για κουκούλες όπου ο σχεδιασμό τους είναι σχετικά απλός και γιατί διευκολύνει το πρεσαρίσμα αλουμινίου. Υπήρχαν πολλές εφαρμογές για μερικά χρόνια, αλλά η βιομηχανία στράφηκε πίσω στο χάλυβα για οικονομικούς λόγους στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Στη δεκαετία του 1990, η χρήση αλουμινίου για καλύμματα (πόρτες, πορτ παγκαζ και φτερά) ειδικά κουκούλες, αυξήθηκε και πάλι. Αυτή η μετατόπιση ήταν ωθούμενη από τον μεγάλο αριθμό των οχημάτων που αναπτύσσονται σε ολόκληρο τον κλάδο.

Η αύξηση των εφαρμογών του αλουμινίου τα 30 τελευταία χρόνια είχε σαν αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να βασιστούν περισσότερο στη βελτίωση παραγωγής αλουμινίου αντί στη βελτίωση του υλικού. Στην πραγματικότητα, οι συνηθισμένοι τύποι αλουμινίου σε μια αυτοκινητοβιομηχανία όπως AA6111, AA5754, AA5182, και AA5083 υπάρχουν από το 1982, 1970, 1967, και 1954 αντίστοιχα. Οι περισσότερες βιομηχανικές βελτιώσεις έχουν πραγματοποιηθεί στην τυπική διαδικασία πρεσαρίσματος. Συγκεκριμένα, διαθέτουν συνηθισμένες πρέσες απλής κατασκευής όμως δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά του αλουμινίου είναι διαφορετικά από εκείνα του χάλυβα η

βιομηχανία πρέσας είχε μια απότομη εξέλιξη σε τομείς όπως η μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων, ο σχεδιασμός, η ανάλυση τάσεων κατά την μοντελοποίηση, η διαχείριση πλαισίου, η λίπανση, η επίστρωση και η διατήρηση καλουπιών και το φιλτράρισμα/διαχωρισμός από υπολείμματα.



Αν και αυτές οι βελτιώσεις έχουν διευκολύνει τη χρήση αλουμινίου η δυσκολότερη ικανότητα διαμόρφωσης αλουμινίου σε σχέση με το χάλυβα εξακολουθεί να αποτελεί μια πρόκληση. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, εναλλακτικές μέθοδοι διαμόρφωσης συνεχίζουν να διερευνώνται. Αυτές περιλαμβάνουν πλαστικές μορφοποίησης όπως γρήγορη πλαστική μορφοποίηση (QPF), υδροηλεκτρική διαμόρφωση, υδρομορφοποίηση, μορφοποίηση εν θερμώ, τρόχισμα, θερμική επεξεργασία παλινδρόμησης, ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση, προσχηματισμός συγκόλλησης. Ως παραδείγματα αυτών των τεχνολογιών, η QPF και το τρόχισμα έχουν διαφορετικά προβλήματα μορφοποίησης τα οποία λύνονται με προσομοίωση και ρομποτική τεχνολογία. Στην περίπτωση της QPF, η τεχνολογία αναπτύχθηκε πλεονεκτεί ως προς την αυξημένη πλαστικότητα ορισμένων κραμάτων αλουμινίου σε αυξημένες θερμοκρασίες. Η τεχνολογία τροχίσματος αναπτύχθηκε αρχικά ως μια μέθοδος για τη μείωση επένδυσης σε εξοπλισμό και για να παρέχει αυξημένη ευελιξία παραγωγής! Ωστόσο, κατέληξε να παρέχει ένα πλεονέκτημα με το αλουμίνιο, διότι τροποποίησε την δύσκολη πορεία και βελτίωσε την δυνατότητα μορφοποίησης.

3.3.2 Ταχεία πλαστική παραμόρφωση

Το φαινόμενο της πλαστικότητας, στην οποία λεπτόκοκκα ή διπλής φάσης υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλή ολκιμότητα λόγω οριακής ολίσθησης των κόκκων έχει γίνει γνωστό από το περίφημο έργο του Backofen πριν από 40 χρόνια. Η υπερπλαστική μορφοποίηση (SPF), η οποία χρησιμοποιεί την πίεση του αερίου για να σχηματίσει υπερπλαστικά κράματα σε μονής όψης καλούπια, έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην αεροναυπηγική αγορά για να δημιουργήσουν μια μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων για τα διαστημόπλοια και τα επιβατικά αεροπλάνα. Από το 1970, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από την αυτοκινητοβιομηχανία για να παράγουν πολύπλοκα, ελαφριά πάνελ για εξειδικευμένα προϊόντα με ετήσιες ποσότητες κάτω των 1.000 μονάδων. Ένα παράδειγμα της διαδικασίας SPF, στην οποία τα πάνελ προέρχονται δια χειρός από μεγάλη θερμαινόμενη πρέσα, αποτυπώνεται στο Σχήμα 25.



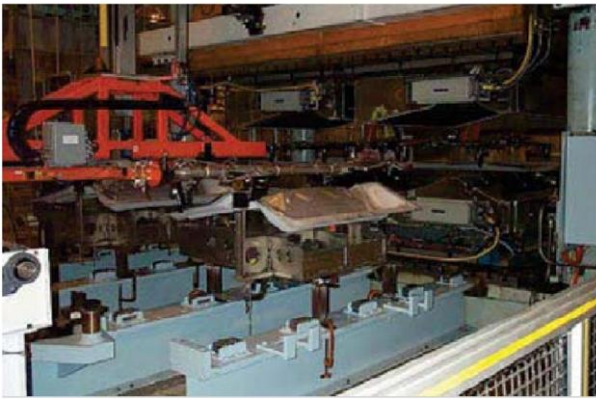
Σχήμα 25. Διαδικασία SPF.

Η τεχνολογία αυτή έχει βελτιστοποιηθεί γύρω από ιδιαίτερα οχήματα (Bentley, Rolls Royce, Maybach) όπου οι δαπάνες για εξοπλισμό είναι εξαιρετικά χαμηλές, ο χρόνος παράγωγης είναι μεγάλος, το περιεχόμενο της εργασίας και οι τιμές των υλικών είναι υψηλές, ενώ τα μέρη μπορούν να επανεξεταστούν μετά την παραγωγή, επειδή κάθε όχημα είναι χειροποίητο.



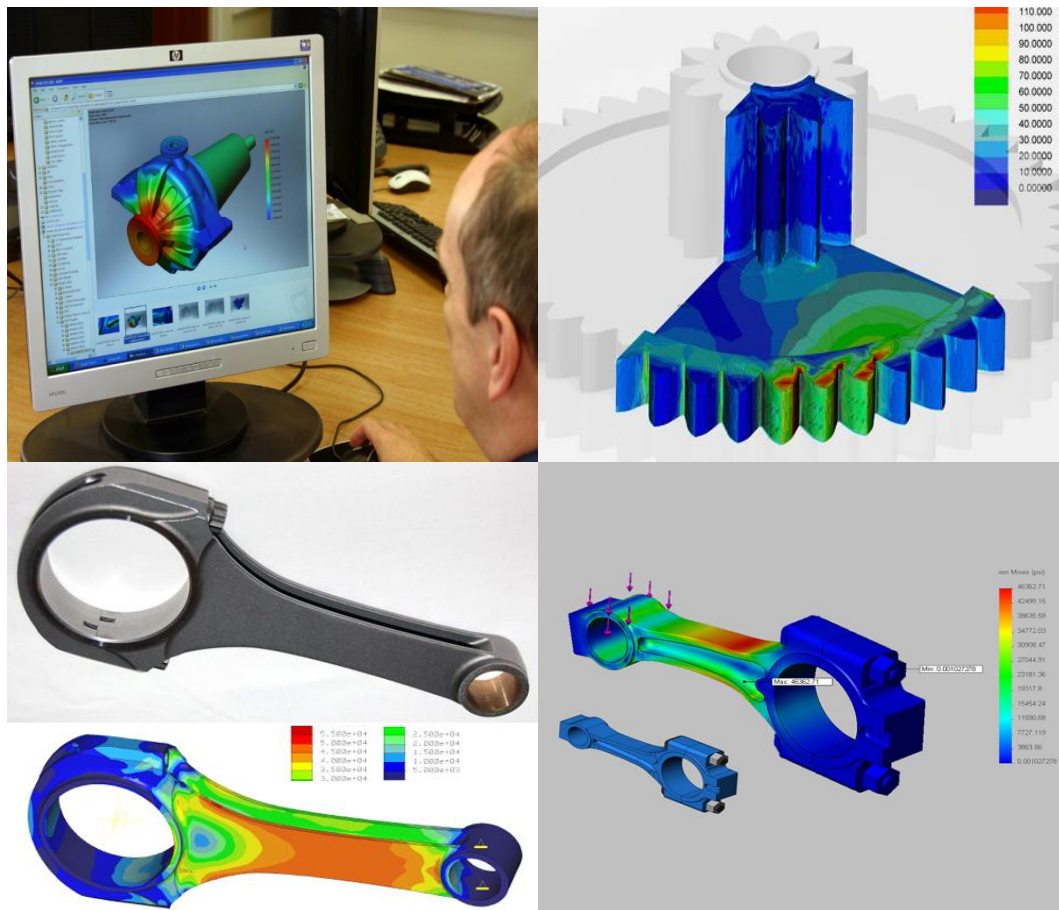
Η γρήγορη πλαστική παραμόρφωση αναπτύχθηκε από την GM και θεωρείται μια από τις καινοτομίες της, μιας και η διαδικασία SPF αποτελεί την τεχνολογία που υιοθετήθηκε στην κύρια

αυτοκινητοβιομηχανία της και όχι για ιδιαίτερα οχήματα άλλα για οχήματα μαζικής παράγωγης. Παράδειγμα η τεχνολογία QPF έχει εφαρμοστεί για την παραγωγή πόρτας αποσκευών(πορτ παγκαζ) στο Chevrolet Malibu Maxx και Cadillac STS. Ο στόχος της ανάπτυξης QPF τεχνολογίας ήταν να δημιουργηθεί μια διαδικασία που θα επιτρέπει ακριβείς διαστάσεις εξαρτημάτων αυτοκινήτων και θα εφαρμόζεται σε μεγάλης παράγωγης αυτοκίνητα σε ανταγωνιστική τιμή. Η απαίτηση για εξαρτήματα συγκεκριμένων διαστάσεων κατέστησε αναγκαίο την ανάπτυξη βελτιωμένων μηχανισμών αποδέσμευσης τμημάτων με ακριβή νέα γεωμετρία και το σημαντικότερο, μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία. Μια φωτογραφία που δείχνει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα χειρισμού φαίνεται στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26.Αυτοματοποιημένο σύστημα αποδέσμευσης τμημάτων.

Βασικό για να καταστήσει δυνατή την αυτοματοποίηση της διαδικασίας QPF ήταν η ανάπτυξη ενός εξ ολοκλήρου θερμαινόμενου εργαλείου, το οποίο εξάλειψε την ανάγκη για χρήση μιας ειδικής θερμαινόμενης πρέσας. Το θερμαινόμενο εργαλείο επέτρεψε τη χρήση συμβατικών υλικών με χειροκίνητο εξοπλισμό και επίσης αποτρέπει την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενου πρεσαρίσματος. Η απαίτηση για εξαρτήματα συγκεκριμένων διαστάσεων οδήγησε επίσης σε χαμηλότερη θερμοκρασία διαμόρφωσης (450°C σε σύγκριση με $> 500^{\circ}\text{C}$), έτσι τα πάνελ διαμορφώνονται με περισσότερη δύναμη και είναι λιγότερο ευπαθή σε βλάβη ή παραμόρφωση κατά το χειρισμό. Τα εξαρτήματα αυτοκινήτων δεν είναι τόσο περίπλοκα όπως τα εξαρτήματα αεροσκαφών. Έτσι, ενώ για την βελτίωση της διαμόρφωσης απαιτήθηκε συμβατικό πρεσάρισμα στα οχήματα, η δυνατότητα διαμόρφωσης δεν χρειαζόταν να βρίσκονται στα παραδοσιακά επίπεδα SPF μέχρι 1.000 τοις εκατό. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της βάσης δεδομένων μαθηματικών, όπως το PAMQPF (Σχήμα 27), ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων μοντελοποίησης που θα μπορούσε να προβλέψει τη δυνατότητα μορφοποίησης που απαιτείται για να κατασκευάσει κανείς τα επιθυμητά εξαρτήματα.



Σχήμα

27. Προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων μοντελοποίησης.

Για την κατασκευή εξαρτημάτων σε μια αυτοκινητοβιομηχανία, η διαδικασία έπρεπε επίσης να έχει τη δυνατότητα να παράγει μέχρι 100.000 πάνελ ανά έτος. Αυτό που έπρεπε ήταν ο χρόνος διαμόρφωσης να μειωθεί από 30 λεπτά ανά τομέα σε 2-3 λεπτά, το οποίο σημαίνει ότι το υλικό χρειάζεται ένα ποσοστό παραμόρφωσης της τάξεως 0,001-0,01 το δευτερόλεπτο. Αυτό είναι τουλάχιστον δέκα φορές πιο γρήγορο από ότι τα τυπικά SPF υλικά που παραμορφώνονταν, πράγμα που σημαίνει ότι τα όρια διαμόρφωσης και η συμπεριφορά παραμόρφωσης έπρεπε να επαναξιολογηθούν.

Τέλος, η απαίτηση για χαμηλότερο κόστος οδήγησε στην ανάπτυξη ενός βελτιωμένου υλικού για τη διαδικασία QPF. Αυτό συνεπάγεται στη διαμόρφωση ενός υλικού έκδοσης του AA5083 που είναι χαμηλότερου κόστους και που είναι σε θέση να ανεχθεί ένα υψηλότερο ποσοστό προσμείξεων (π.χ. Σίδηρος). Η εμπορική καθαρότητα του υλικού AA5083 που αναπτύχθηκε για την QPF, παρέχει σχεδόν εξ ολοκλήρου δυνατότητα διαμόρφωσης των υλικών υψηλής καθαρότητας αλλά ήταν οικονομικά ανταγωνιστικό με τα εμπορικά φύλλα αλουμινίου.

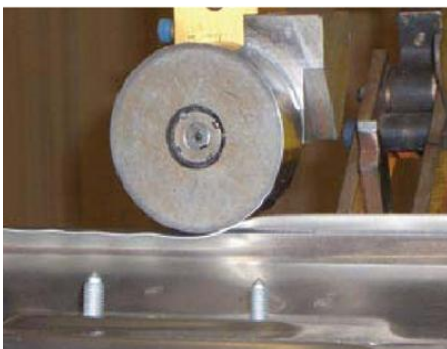
3.3.3.Στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης Κυλίνδρου



Μια σημαντική πρόκληση διαμόρφωσης αλουμινίου στις πόρτες των οχημάτων είναι η ικανότητα



Σχήμα 28.



Σχήμα 29.

στριψώματος του εξωτερικού πάνελ γύρω από το εσωτερικό πάνελ (που απαιτεί 180 μοίρες κάμψης) για να παραχθεί μια στενή, χωρίς ρωγμή συναρμολόγηση. Η ποιότητα του στριψώματος σε μια πόρτα είναι πολύ σημαντική για την εμφάνιση του οχήματος δεδομένου ότι καθορίζει την προσαρμογή εξαρτημάτων μεταξύ του αμαξώματος. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, αυτό έχει ονομαστεί ως “η επίδραση του κοσμήματος” (jewel effect). Επειδή το αλουμίνιο ταιριάζει περισσότερο, σε σύγκριση με το χάλυβα και έχει χαμηλότερη δυνατότητα μορφοποίησης και η ακτίνα στην άκρη του στριψώματος είναι μεγαλύτερη από ότι είναι συνήθως στο χάλυβα δίνοντας έτσι μια λιγότερο επιθυμητή εμφάνιση. Η βελτίωση της κατάστασης στριψώματος σε αλουμίνιο έχει αντιμετωπιστεί με μία ποικιλία μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της ακτίνας στριψώματος (tore hem), χρησιμοποιώντας μια χαμηλή φλάντζα αντί για ένα στρίψωμα, με κράματα της σειράς 6xxx που έχουν μικρότερη δύναμη και την εφαρμογή τοπικής παλινδρόμησης με θερμική κατεργασία. Ενώ κάθε μία από αυτές τις τεχνικές έχει αναδείξει βελτίωση στην διαδικασία στριψώματος, έχουν παρουσιάσει όλες μειονεκτήματα γεγονός που έχει αποτρέψει την ευρεία χρήση τους. Στο στρίψωμα κυλίνδρου ένα ρομπότ χρησιμοποιεί ένα περιστρεφόμενο εργαλείο στο άκρο του

βραχίονα του για να παρέχει την μηχανική παραμόρφωση που σχετίζεται με το στρίψωμα (Σχήμα 28,29). Αυτό αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή από τις παραδοσιακές μεθόδους. Το στρίψωμα αποτελούσε αρχικά μια χειροκίνητη λειτουργία, όπου τα εσωτερικά και εξωτερικά πάνελ τοποθετούνταν σε ένα εξάρτημα και το στρίψωμα σχηματιζόταν με σφυρηλάτηση της στεφάνης από το εξωτερικό πάνελ. Καθώς οι όγκοι αυξήθηκαν, το μηχανικό στρίψωμα πραγματοποιούνταν πρώτα σε μια πρέσα στη συνέχεια, σε μικρότερες «επιτραπέζιες» μονάδες (Σχήμα 28) με πολύπλοκα έκκεντρα συστήματα για να λυγίζουν και να ισιώνουν την φλάντζα σε ένα στρίψωμα. Αυτές οι διαδικασίες ήταν ακριβές και απαιτούσαν ειδικό εξοπλισμό και πρέσες για κάθε εφαρμογή. Με το στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης κυλίνδρου μόνο ένα απλό εξάρτημα σύσφιξης είναι απαραίτητο για κάθε συγκρότημα, επιτρέποντας έτσι τη μείωση των εξόδων και την αύξηση της ευελιξίας. Το ρομπότ μπορεί να προγραμματιστεί να ακολουθήσει οποιαδήποτε επιθυμητή διαδικασία και κατά συνέπεια, το στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης κυλίνδρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε ποικιλία για πάνελ όπως φερριπείν πόρτες, παράθυρα, πόρτα αποσκευών και ούτω καθεξής. Αυτό προκαλεί περισσότερα οφέλη καθώς ο αριθμός των εκδόσεων ενός μοντέλου αυξάνεται, μειώνοντας αποτελεσματικά των απαιτούμενο όγκο για συγκεκριμένα εξαρτήματα όπως οι πόρτες. Η εξέλιξη στο στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης κυλίνδρου κατά τα τελευταία 20 χρόνια έχει επιδράσει θετικά στη χρήση του στριψώματος, στις επενδύσεις, και στην μείωση χώρου μιας επιχείρησης.



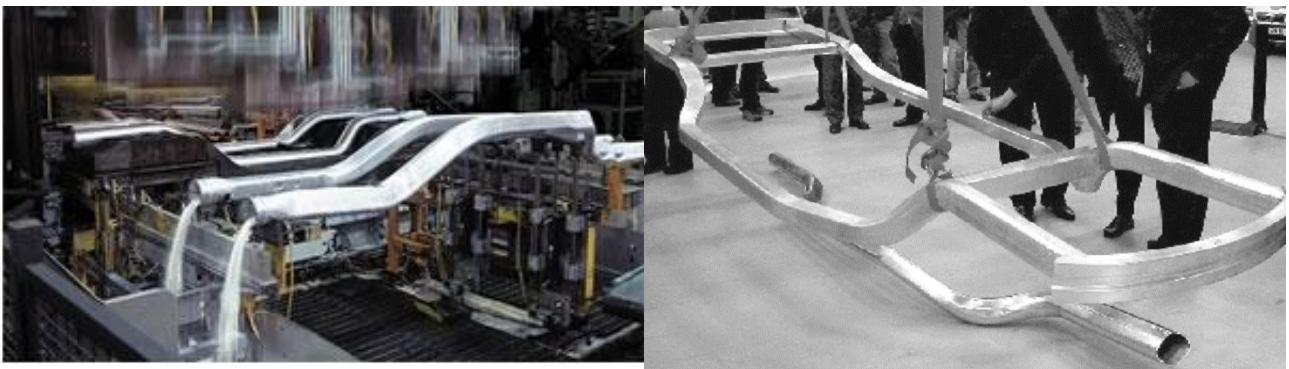
Σχήμα 28.Επιτραπέζιες μονάδες.

Αν και δεν αναπτύχθηκε αρχικά για το αλουμίνιο, το στέλεχος που χρησιμοποιείται στο στρίψωμα μέσω ρομποτικής διάταξης κυλίνδρου είναι στην πραγματικότητα καταλληλότερο για το αλουμίνιο, δημιουργώντας μια λιγότερο σοβαρή συνθήκη και επιτρέποντας μια ομαλή διαδικασία στριψώματος να παραχθεί. Η κυλινδρική κίνηση της διαδικασίας μετακινεί μακριά το στέλεχος από την πορεία του, το οποίο αποτελεί και την χειρότερη συνθήκη για διαμόρφωση. Αυτό μειώνει αποτελεσματικά την καταπόνηση στην επιφάνεια της καμπής, επιτρέποντας έτσι καλύτερο σχηματισμό πριν από το όριο θραύσης. Πρόσφατη εργασία έχει δείξει ότι τα κράματα αλουμινίου που παρουσιάζουν ρωγμές κατά τη διάρκεια συμβατικών λειτουργιών στριψώματος δεν

παρουσιάζουν ρωγμές κατά τη διάρκεια του στριφώματος μέσω ρομποτικής διάταξης κυλίνδρου. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία αυτή έχει δείξει πρόσφατα αυξημένη χρήση σε εφαρμογές αλουμινίου, όπως στο Audi A8. Είναι πιθανόν να είναι κρίσιμη η χρήση του αλουμινίου σε μελλοντικά εξαρτήματα του οχήματος όπως πόρτες, πορτ παγκαζ κτλπ.

3.4 Υδροσχηματισμένες Κατασκευές

Σωληνοειδείς υδροδιαμόρφωση είναι μια διαδικασία σχηματισμού μέταλλου, η οποία χρησιμοποιεί πεπιεσμένο υγρό, όπως νερό για να κάνει διάφορα περιμετρικά σχήματα από σωληνώσεις. Σε σύγκριση με τη χρήση πρέσσας, οι υδρομορφοποιημένοι σωλήνες παρέχουν περαιτέρω εξοικονόμηση μάζας για τα εξαρτήματα κατασκευής. Χρησιμοποιούνται σήμερα για πολλές κατασκευαστικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων δοκών πλαισίου, βάσεις μηχανής, βάσεις ψυγείου και IP ακτίνες.



Σχήμα 29 Σωληνοειδής υδροδιαμόρφωση πλαισίου

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 29, η διαδικασία σωληνοειδούς υδροδιαμόρφωσης είναι η βασική τεχνολογία που επιτρέπει την κατασκευή πλαισίου από αλουμινίου σε μια Corvette Z06. Οι δοκοί αλουμινίου στο πλαίσιο της Corvette θεωρούνται ως το μεγαλύτερο υδρομορφοποιημένο τμήμα στον κόσμο, το οποίο ανέρχεται περίπου στα 4,8 μέτρα. Υδρομορφοποιημένα τόξα οροφής και ακτίνες IP αποτελούν επίσης πολυσύνθετες σωληνοειδείς κατασκευές που συνδυάζουν πολλά πρεσαριστά εξαρτήματα για σημαντική εξοικονόμηση μάζας και βελτιώσεις ακαμψίας.

Το μοντέλο Chevrolet SSR του σχήματος



30 (ένα περιορισμένης παράγωγης спор φορτηγάκι), διαθέτει σε όλο το μήκος του υδρομορφοποιημένους δοκούς παρόμοια όπως με το πλαίσιο της Corvette, με τη μόνη διαφορά ότι αυτή είναι από χάλυβα (Σχήμα 31). Ένα παραδοσιακό πρεσαριστό πλαίσιο με ισοδύναμη αντοχή και ακαμψία θα ζυγίζε περίπου 20 τοις εκατό περισσότερο από ότι το ένα υδρομορφοποιημένο. Αυτή η βελτιωμένη δύναμη επιτρέπει στο πλαίσιο να είναι πιο ανθεκτικό στις ανωμαλίες του δρόμου επιτρέποντας στην ανάρτηση να δουλεύει με μεγαλύτερη ακρίβεια, με αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητα κύλισης. Προγράμματα φορτηγών της GM επίσης κάνουν εκτεταμένη χρήση της σωληνοειδούς υδροδιαμόρφωσης για να παράγουν πλαίσια φορτηγών από χάλυβα. Η τεχνολογία, η οποία είναι ιδιαίτερα αυτοματοποιημένη, έχει βελτιώσει την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα κατασκευής. Στο πλαίσιο για το φορτηγό GMT800, το οποίο εισήχθη το 1999, έγινε η πρώτη μεγάλη όγκου εφαρμογή μπροστινών και εγκάρσιων υδρομορφοποιημένων δοκών. Τα υδρομορφοποιημένα πλαίσια διπλασίασαν τη στρεπτική ακαμψία σε σχέση με τα συμβατικά πρεσαριστά πλαίσια των φορτηγών, επιτυγχάνοντας παράλληλα ένα 15 τοις εκατό στην εξοικονόμηση βάρους και καλύτερη ποιότητα κύλισης. Τα υδρομορφοποιημένα πλαίσια βελτιώθηκαν περαιτέρω σε νεοεισαχθέντα φορτηγά GMT900 της GM, τα οποία έχουν ετήσιο κύκλο παραγωγής περίπου 1,3 εκατομμυρίων μονάδων.



Σχήμα 30. Chevrolet SSR 03'.



Σχήμα 31. Υδροδιαμορφωμένο πλαίσιο του SSR από χάλυβα.

3.5 Ελαφριά Πολυμερή Σύνθετα Υλικά

Παρά το γεγονός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες είχαν κάνει εντατική χρήση πολυμερών σύνθετων υλικών για πρωτότυπα οχήματα χαμηλού όγκου για δεκαετίες, δεν είχαν ευρύτερη εφαρμογή στην αγορά λόγω της θεώρησης ότι είχαν πολύ υψηλό κόστος και δεν ήταν κατάλληλα για μαζική παραγωγή. Από τους χιλιάδες συνδυασμούς πολυμερών τύπων (θερμοσκληρυντικά ή θερμοπλαστικά) και τη διαμόρφωση της διαδικασίας (χύτευση με έγχυση, χύτευση με συμπίεση,

υγρή χύτευση, θερμοδιαμόρφωση, κτλ.) η μεγαλύτερη πρόοδος σημειώθηκε στην θερμοσκληρυντική χύτευση με συμπίεση.



Η εφαρμογή της θερμοσκληρυντικής χύτευσης με συμπίεση ή αλλιώς FRP (Fiber Reinforced Plastics) έχει περισσότερα από 50 χρόνια ιστορίας στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Στην ιστορία της αυτοκινητοβιομηχανίας αξίζει να σημειωθεί ότι, η Corvette το 1953 θεωρείται ένα παράδειγμα ορόσημο, επειδή ήταν η πρώτη ευρεία εφαρμογή της FRP σε ένα αυτοκίνητο παραγωγής. Μάλιστα, παρουσιάστηκε στο κοινό στο Σαλόνι Motorama στο ξενοδοχείο Waldorf στην Νέα Υόρκη, όπου παρουσίαζε ένα εκθεσιακό μοντέλο της Corvette που ήταν εξ ολοκλήρου από σύνθετα υλικά. Η επιλογή της FRP για το εκθεσιακό μοντέλο βασίστηκε για διαφήμιση! Το πραγματικό σχέδιο παραγωγής είχε χαλύβδινα πάνελ και κατασκευαζόταν από απλά εργαλεία.

Ωστόσο, τα πρωτότυπα σπορ μοντέλα από FRP εξάπτουν τη φαντασία του αμερικανικού κοινού και η ζήτηση για το αυτοκίνητο προκάλεσε στην Chevrolet να εξελίξει τη βιομηχανία FRP για ικανότερες διεργασίες χύτευσης. Αν και η ανάπτυξη ανοικτών διαδικασιών καλουπιού εκτιμήθηκαν



και από βιομηχανίες κατασκευής πλοίων, αλλά η εφαρμογή τους ήταν πιο αργή. Παρ' όλα αυτά, αρχίζοντας από τον Ιούνιο του 1953, 300 Corvette παρήχθησαν με FRP κομμάτια αμαξώματος όπου κατασκευαζόταν σε ανοιχτά καλούπια με χειροκίνητο πρεσάρισμα πολυεστερικής ρητίνης με υαλοβάμβακα. Εν τω μεταξύ, μια ταχύτερη, πιο παραγωγική διαδικασία ήταν υπό ανάπτυξη για να καλυφθεί η

αναμενόμενη ζήτηση.

Σχήμα 32. Ψεκάσμος fiberglass.

Η επιλεγόσα διαδικασία ήταν η χύτευση του Fiber Glass η αλλιώς MFG (Molded Fiber Glass) που ταιριάζει με την χύτευση μετάλλου, η οποία ήταν σε θέση με αυτή την μέθοδο να κατασκευαστούν μέχρι και 100 κομμάτια ανά ημέρα με ένα μόνο ενιαίο εργαλείο. Για απλού σχήματος κομμάτια, η αρχική φόρμα κατασκευάζονταν από υλικά fiberglass και για πιο περίπλοκα η αρχική φόρμα κατασκευάζονταν χειροκίνητα ψεκάοντας ψιλά κομμάτια fiberglass επάνω σε μια διαμορφωμένη



κατασκευή (Σχήμα 32). Η χύτευση επιτεύχθηκε με την τοποθέτηση του καλουπιού για την μορφοποίηση του fiberglass επάνω στο εργαλείο, ρίχνοντας κατά μήκος όλου του καλουπιού με το χέρι μετρημένη ποσότητα πολυεστερικής ρητίνης και στην συνέχεια προχωρούσε στην σφράγιση του. Μετά από τρία λεπτά σκλήρυνσης, το χυτευμένο κομμάτι μπορούσε να αφαιρεθεί από το εργαλείο και να γυαλιστεί χειροκίνητα με ένα ηλεκτρικό τριβείο.

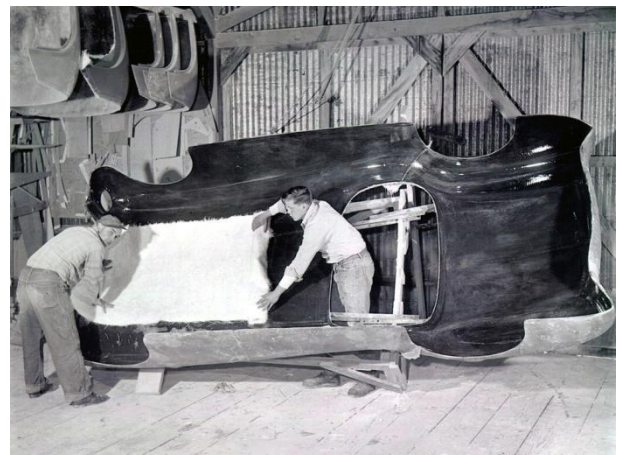
Την επόμενη δεκαετία, η βασική διαδικασία παρέμεινε αμετάβλητη, αν και εντυπωσιακή παραγωγικότητα και βελτίωση της ποιότητας πραγματοποιήθηκε από τον Robert Morrison, ο οποίος ήταν προϊστάμενος στο τομέα της διαδικασίας MFG, που εκτιμάται ότι, μεταξύ 1953 και 1963 το κόστος επεξεργασίας για τα πάνελ του αμαξώματος για την Corvette μειώθηκαν κατά 50 τοις εκατό. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των κερδών

ήρθε ως αποτέλεσμα από την βελτίωση της αποτελεσματικότητας στην αρχική φόρμα κατασκευής, η οποία επέτρεψε η διαδικασία να γίνει λιγότερο έντονη από πλευράς εργασίας. Επίσης, ισχυρότερες υδραυλικές πρέσες με την επικείμενη βελτίωση των ελέγχων της ποιότητας παραγωγής αναφέρονται επίσης ως παράγοντες



που συνετέλεσαν σε αυτό. Παρά τα προαναφερθέντα οφέλη που συνετέλεσαν στην βελτίωση της παραγωγικότητας, η ποιότητα της επιφάνειας των προσχηματισμένων τεμαχίων που βασίζονταν στην χύτευση συχνά χρειαζόταν λείανση πριν το βάψιμο και ο χειροκίνητος ψεκασμός σε προσχηματισμένα τεμάχια είχε κατηγορηθεί πολλές για ατέλειες στην επιφάνεια. Η βιομηχανία σύνθετων υλικών πήρε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για τα προβλήματα ατελειών επιφάνειας. Μία προσέγγιση ήταν να αναπτυχθεί ένα σύστημα χαμηλής συρρίκνωσης ρητίνης που θα ήταν λιγότερο επιρρεπής στις ρωγμές και στις ανωμαλίες της επιφανείας. Η δεύτερη προσέγγιση ήταν να αναπτυχθεί ένα προ εμποτισμένο ρευστό υλικό για να αντικαταστήσει την διαδικασία της αρχικής φόρμας.

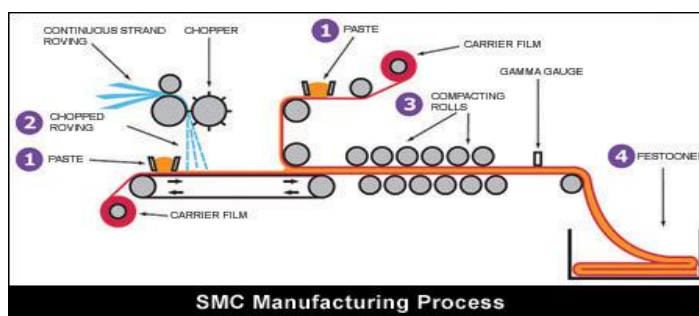
Το προ εμποτισμένο υλικό τελικά εξελίχθηκε, σε αυτό που σήμερα ονομάζεται SMC(sheet molding compound) σύνθεση φύλλων χύτευσης. Ήδη από το 1968, οι δύο αυτές προσεγγίσεις συγχωνεύτηκαν σε ένα χαμηλό συρρίκνωσης SMC που εισήχθη στην παραγωγή σε καμπίνες φορτηγών από την International Harvester. Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα εξέλιξης της Corvette στις αρχές του



1970. Το 1971, ένα πρόσθετο χαμηλού προφίλ για μειωμένη συρρίκνωση είχε συμπεριληφθεί στην πολυεστερική ρητίνη που χρησιμοποιείται στη διαδικασία προσχημάτισης για όλες τις εξωτερικές επιφάνειες των πάνελ, ενώ το SMC εφαρμόστηκε σε μερικά μέρη που ήταν δύσκολο να προσχηματιστούν. Μέσα στα επόμενα χρόνια, τα πάνελ της Corvette είχαν όλα μεταπηδήσει από τη διαδικασία προσχημάτισης σε SMC. Αυτή η αλλαγή οφειλόταν σε συνεχείς βελτιώσεις των υλικών και των διαδικασιών. Με τη βελτιωμένη συνοχή του SMC, η ποιότητα της επιφάνειας βελτιώθηκε και η εργασία για το γυάλισμα μειώθηκε.

Την δεκαετία του 1970, όταν παράγοντες, όπως οι πετρελαϊκές κρίσεις και όλο και πιο αυστηρές προδιαγραφές ασφάλειας και οικονομίας καυσίμου οδήγησαν τις αυτοκινητοβιομηχανίες στην σημαντική μείωση της μάζας του οχήματος, όπου τα κέρδη παραγωγικότητας που επιτυγχάνονταν με SMC οδήγησε πολλούς κατασκευαστές να στραφούν σε σύνθετα υλικά. Η χρήση του SMC από τις αυτοκινητοβιομηχανίες υπερδιπλασιάστηκε, από 20 εκατ. κιλά ετησίως το 1970 σε περίπου 45 εκατ. κιλά ετησίως έως το τέλος της δεκαετίας.

Αυτή η δραματική αύξηση της χρήσης του SMC θα ήταν ακόμη μεγαλύτερη αν δεν επέφερε ατέλειες επιφάνειας, όπως βαθουλώματα και το πορώδες, το οποίο απαιτεί ένα χέρι φινιρίσμα πριν από την επίστρωση. Ως απάντηση σε αυτό το ζήτημα, δημιουργείται η τεχνολογία



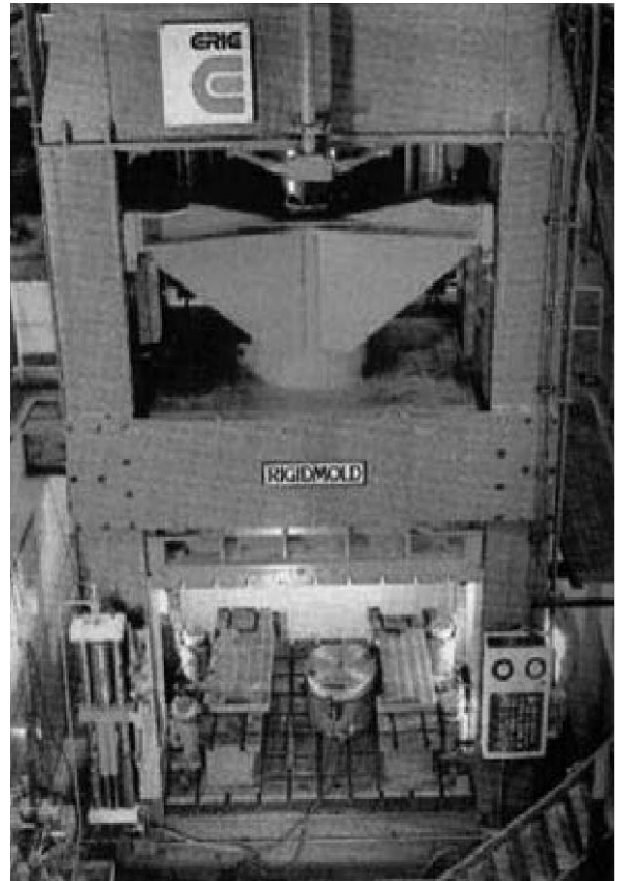
πάνω στην επίστρωση χρώματος που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Αυτή η τεχνολογία εμπλέκει την έγχυση και επικάλυψη πάνω στην επιφάνεια του SMC, ενώ ακόμα είναι μέσα στο καλούπι. Με αποτέλεσμα η βελτίωση στην ποιότητα της επιφάνειας να είναι δραματική, αλλά με ένα υψηλό τίμημα, χρειαζότανε μεγαλύτερο χρόνο παραγωγής.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 είδαμε επίσης καινοτομίες σε υδραυλικές πρέσες, όταν δευτεροβάθμιας υδραυλικά συστήματα είχαν αναπτυχθεί για τη βελτίωση της πλάκας παραλληλισμού (Σχήμα 32). Άλλες καινοτομίες σε πρέσες όπως νέα σχέδια μικρότερης τάσης δύναμης που επέτρεψε σε ένα δευτερεύον υδραυλικό σύστημα να πέσει και να κλειδώσει την άνω πλάκα στη θέση ακριβώς πάνω από το εργαλείο και με μικρότερη ασκούμενη δύναμη, και για υψηλής πίεσης ασκούμενη δύναμη να ξεκινά από την κάτω πλάκα. Εκτός από τον ταχύτερο χρόνο κλεισίματος, η χαμηλότερη θέση του κλειδώματος της άνω πλάκας αύξησε αποτελεσματικά την ακαμψία της πρέσας, επιτρέποντας έτσι σε λεπτότερα κομμάτια να κατασκευάζονται με βελτιωμένες ανοχές. Παρ'όλο τις βελτιώσεις που έγιναν σε διαδικασίες σύνθετων υλικών από την πρώτη Corvette, οι σχετικά μεγάλοι χρόνοι παραγωγής περιόριζαν ακόμα τις εφαρμογές SMC για

περιορισμένης παραγωγής οχήματα στη δεκαετία του 1980. Τα 5 λεπτά κύκλου παράγωγης που χρειαζότανε η MFG χύτευση το 1953 είχε μόνο μειωθεί σε 3 λεπτά για μια τυπική SMC χύτευση το 1983. Μεταξύ του 1983 και 1988, ωστόσο, μια σειρά βελτιώσεων της διαδικασίας αναπτύχθηκαν για να μειωθεί ο χρόνος κύκλου παραγωγής .

Η χύτευση καλουπιού ήταν μια βασική τεχνολογία που αναπτύχθηκε για μικρότερους κύκλους παραγωγής. Η αφαίρεση του αέρα πριν από το κλείσιμο της πρέσας θα επιτρέπει τη χρήση λεπτότερων ,και υψηλότερης σφράγισης πρωτοτύπων καλουπιών χωρίς το φόβο του εγκλωβισμού αέρα που επιφέρει την δημιουργία φυσαλίδων. Λεπτότερη φόρτιση επιτρέπει ταχύτερους χρόνους κλεισίματος καλουπιού,η οποία με τη σειρά της επέτρεψε ταχύτερες χημικές ενώσεις που διαφορετικά θα οδηγούσε σε ασταθής μορφή. Ίσως ακόμη πιο σημαντική, στην χύτευση καλουπιού οδήγησε στην βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας και κατάργησε την επικάλυψη εντός του καλουπιού. Αυτό και μόνο,βελτίωσε κατά 30 τοις εκατό το χρόνο παραγωγής.

Σχήμα 32. Υδραυλική πρέσα SMC



Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, η βελτίωση των ελέγχων του μικροεπεξεργαστή έδωσε στις πρέσες SMC πρωτοφανή έλεγχο της πλάκας για πολλαπλές διεργασίες αλλά και για την ταχύτητα κλεισίματος. Αυτά τα πιεστήρια παράγουν αυστηρότερες ανοχές στο κομμάτι του πάχους και κατά συνέπεια δίνεται η δυνατότητα σε λεπτότερα τμήματα να φορμάρονται πιο εύκολα. Εκτός από τη μείωση του κόστους και τη μάζα, λεπτότερα κομμάτια επέτρεψαν επίσης μικρότερους χρόνους παράγωγης.



Μέχρι το 1988, η βελτίωση της εξέλιξης της πρέσας σε συνδυασμό με την αναρρόφηση του αέρα κατά την χύτευση επέτρεψε στην SMC διαδικασία παραγωγικότητα ώστε να ανταποκριθεί επιτέλους στο άπιαστο κύκλο των 60 δευτερολέπτων που μεταφράζεται στην παραγωγή 250.000 κομματιών ανά έτος, από ένα και μόνο ενιαίο εργαλείο. Αυτοματισμός και Ρομποτική εισάγονται στην SMC διαδικασία χύτευσης στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Αυτοματοποιημένη κοπή, ρομποτική για τοποθέτηση, ρομποτικής αφαίρεσης καλουπιού, αυτοματοποιημένη δρομολόγηση και σταθμοί εισάγονται σταδιακά στις SMC μονάδες. Όσον αφορά στην ετήσια SMC παραγωγή ανά εργαζόμενο, το 1985 ο μέσος όρος ήταν 12,5 τόνοι το 1990, αυτό αυξήθηκε σε 18 τόνους ανά εργαζόμενο.



Οι εφαρμογές της SMC στις αυτοκινητοβιομηχανίες συνεχίζουν να αυξάνουν μέσα από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Μια σημαντική κινητήρια δύναμη ήταν τα χαμηλότερα επίπεδα επενδύσεων που απαιτούνται για εξοπλισμό της διαδικασίας SMC έναντι των χαλύβδινων φύλλων. Ενώ η εξοικονόμηση μάζα που παρέχεται από SMCs ήταν ευπρόσδεκτη, αυτό δεν αποτελούσε και τον καταλυτικό παράγοντα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, χαμηλής πυκνότητας σκευάσματα SMC (1,3 g / cc έναντι 1,9 g / cc) αναπτύχθηκαν αντικαθιστώντας ορυκτά μέσα πληρώσεως με μικροσφαιρίδια υάλου. Αυτά τα υλικά αντικατέστησαν συμβατικά SMCs σε πολλά δομικά μέρη,

αλλά δεν είχαν εφαρμοστεί με επιτυχία σε “διακοσμητικές” επιφάνειες λόγω των επιφανειακών ελαττωμάτων που προκλήθηκαν από τα μικροσφαιρίδια επιφανειών.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, περιβαλλοντικές ανησυχίες οδήγησαν σε μια αλλαγή από τον primer διαλύτη σε primer σκόνη που εφαρμόζεται σε πολλά βαφεία αυτοκινήτων. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες χρωμάτων που απαιτούσαν για τα νέα primer προκάλεσαν ένα απαράδεκτο επίπεδο των επιφανειακών ελαττωμάτων στα διαθέσιμα καλλυντικά ποιότητας της SMC. Ως αποτέλεσμα, καλλυντικές εφαρμογές των SMCs απομακρύνθηκαν από τα οχήματα που προορίζονται για τα καταστήματα προνομιακής σκόνης με βάση το χρώμα. Συνεχίζονται οι προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός νέου σκευάσματος SMC που να αντέχει σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

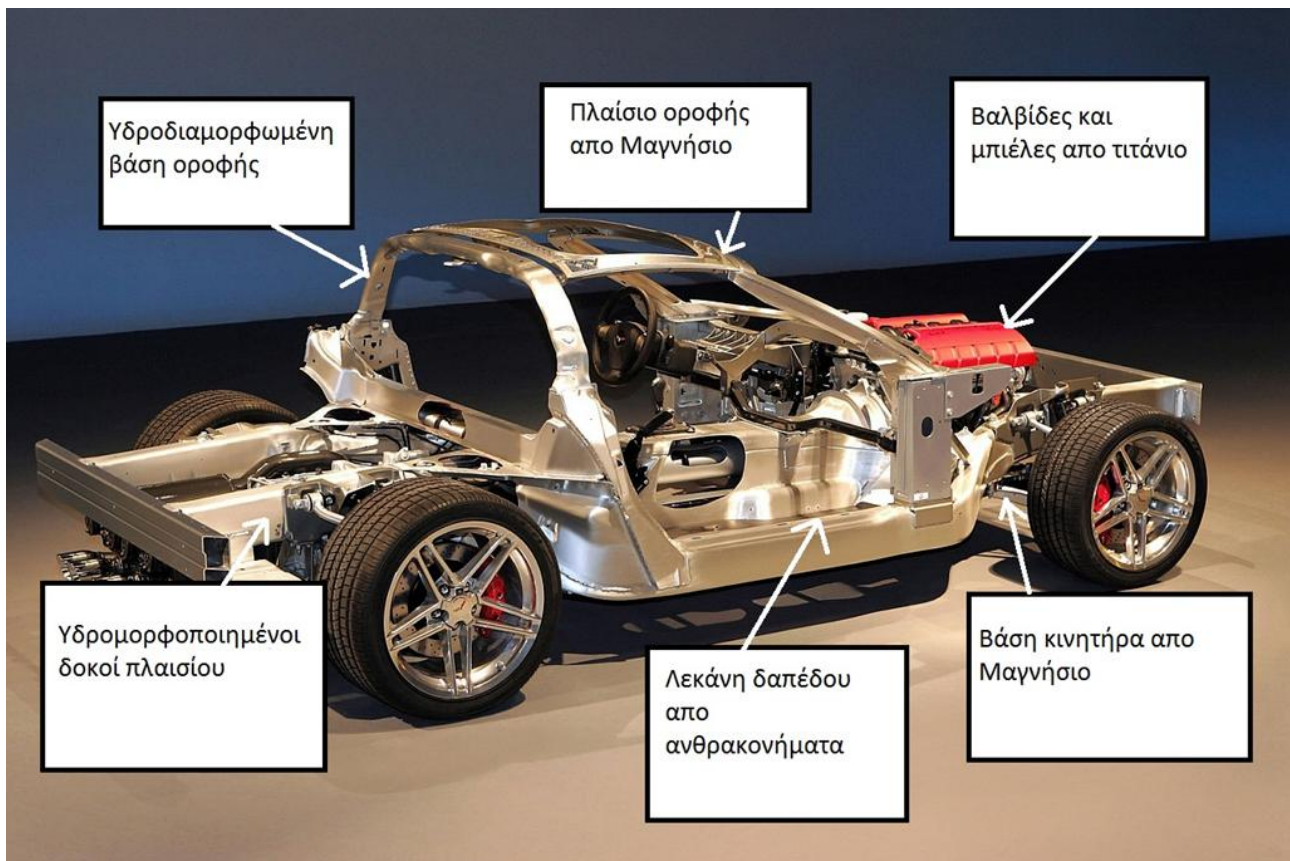


4. Το Μέλλον



Ενώ οι αλλαγές στα υλικά και τις διαδικασίες κατά τα τελευταία 50 χρόνια ήταν δραματική, τα επόμενα 50 χρόνια υπόσχονται να είναι ακόμα πιο συναρπαστικά, καθώς η ταχεία εξέλιξη στην επιστήμη των υλικών και της τεχνολογίας επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων υλικών για το αυτοκίνητο, νέα σχέδια του οχήματος, καθώς και βελτιωμένες τεχνολογικές κατασκευές.

Το 2006, η Chevrolet Corvette Z06 περιέχει ήδη ορισμένα από αυτά τα επόμενης γενιάς υλικά. Εκτός από ένα ελαφρύ πλαίσιο από αλουμίνιο (σε 129 kg, το 30 τοις εκατό ελαφρύτερο από το ατσάλι που αντικατέστησε), η Corvette Z06 χρησιμοποιεί επίσης πολλά προηγμένα υλικά για πρώτη φορά στην αυτοκινητοβιομηχανία, όπως η βάση του κινητήρα και η κολόνα του τιμονιού το ίδιο το τιμόνι τα εμπρός φτερά είναι από μαγνήσιο, η βάση στήριξης της μονάδας των φρένων, το δάπεδο, το οποίο είναι κατασκευασμένο από ανδρακονήματα (μια "μοναδική στον κλάδο" εν διάμεση κατασκευή) και τέλος από τιτάνιο οι βαλβίδες και οι μπιέλες (Σχήμα 33). Η απασχόληση αυτών των προηγμένων υλικών, σε συνδυασμό με τη χρήση υδροηλεκτρικής διαμόρφωσης και διαδικασίες χυτής πρέσας, έκανε αυτό το όχημα ένα από τα πιο προσιτά εξωτικά αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων στον κόσμο (π.χ., 60-mpH επιτάχυνση 3,7 δευτερόλεπτα) και με ιπποδύναμη κοντά στα 500 άλογα με την χρήση βενζίνης (χαμηλής ποιότητας) από τις Ηνωμένες Πολιτείες.



Σχήμα 33. Η εξέλιξη των υλικών σε επιμέρους εξαρτήματα της Corvette Z06.

Καθώς κοιτάμε μακρύτερα στο μέλλον, επίσης, θα δούμε εκτεταμένη χρήση της ναυτεχνολογίας και προηγμένα υλικά. Μερικά από αυτά τα υλικά είδη εφαρμόζονται στα οχήματα του σήμερα. Για παράδειγμα, ένα νανο-ενισχυμένο σύνθετο TPO που η GM το χρησιμοποιεί για έναν αριθμό διαφορετικών εφαρμογών εξαρτημάτων σε διάφορα οχήματα.

Ένα είναι σίγουρο, ότι το όχημα θα αποτελείται από μια πιο ισορροπημένη χρήση πολλών υλικών στο μέλλον, ενσωματώνοντας πιο ελαφριά υλικά όπως ναυστοιχεία, φύλλα αλουμινίου και μαγνησίου. Επιπλέον, οι τύποι των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αυτοκινήτων μπορεί να εξαρτώνται περισσότερο από τα καινοτόμα υλικά και όχι από ότι σε καινοτομίες παραγωγής, ως αποτέλεσμα της δραματικής προόδου που γίνεται στην επιστήμη των υλικών σήμερα.

5. Συμπεράσματα

Συνοπτικά θα μπορούσε κανείς να πει ότι ο χώρος της αυτοκινητοβιομηχανίας έχει γνωρίσει δραματικές εξελίξεις τα τελευταία πενήντα χρόνια. Συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί μεταστροφή των σχεδιαστών σε υλικά και τεχνολογίες, τα οποία είναι διαμετρικά αντίθετα από αυτά που χρησιμοποιούνταν κατά το παρελθόν. Βασικοί παράγοντες που επηρέασαν την επιλογή των υλικών στα οχήματα σχετίζονται περισσότερο με:

- Την ανάγκη για επίτευξη της βέλτιστης οδηγικής συμπεριφοράς ανά όχημα
- Την ανάγκη για την αύξηση της ποιότητας κύλισης (άνεση) του οχήματος
- Την ανάγκη για μέγιστη παθητική ασφάλεια του οχήματος
- Την ανάγκη για εξοικονόμηση καυσίμου (βενζίνη/ πετρέλαιο) με την ταυτόχρονη ελάττωση της μάζας του αμαξώματος
- Την ανάγκη για βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, της ορθολογικοποίησης των πόρων και την καλύτερη δυνατή οργάνωση των διεργασιών με την ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής, εργασίας και χρόνου
- Την ανάγκη κάλυψης νέων καταναλωτικών συνηθειών καθώς και αναγκών για εξειδικευμένα προϊόντα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες δεν προσαρμόστηκαν μόνο στις εκάστοτε συνθήκες, προκειμένου δημιουργούν οχήματα που καλύπτουν τις αυξημένες απαιτήσεις του κοινού, αλλά προχώρησαν ένα βήμα παραπέρα και κατάφεραν να ξεπεράσουν τις συνθήκες αυτές οδηγώντας στην εντύπωση ότι πλέον θα μπορούσαν να αποτελέσουν και κομμάτι μυθιστορήματος επιστημονικής φαντασίας. Στην ουσία το μέλλον τους έγκειται στις μηχανές – ρομπότ και στη νανοτεχνολογία σε ότι αφορά στον κατασκευαστικό τομέα.

6. Βιβλιογραφία

1. Austin Weber, *Assembly*, 46 (2) (2003), pp. 62-64, 66-67.
2. J Heasley, *The Production Figure Book for U.S. Cars* (Osceola, WI: Motorbooks International Publishers, 1977), p. 122.
3. GM News Releases, “Gen-IV V8 Marks 50 Years of Small-block Performance” (28 October 2003); “GM Introduces Gen-IV Small-block V8 for Trucks” (28 October 2003); “New Products Strengthen GM Brands for 2005” (27 July 2004).
4. GM Public Policy Center, www.gm.com/company/gmability/sustainability/reports/05/400_products/8_eighty/482.html.
5. G.S. May, ed., “Henry Ford,” *The Automobile Industry, 1896- 1920* (New York: Facts on File, 1990), p. 203.
6. “Chairman’s Message,” *Sixteenth Annual Report of the General Motors Corporation (Year Ended December 31, 1924)*, p. 8.
7. Vehicle price from: *Ward’s Automotive International Yearbook* (Detroit, MI: Wards Communications, 1955), p. 29. Average weekly median family income from: U.S. Census Bureau, mvw.census.gov/.
8. Ward’s Automotive Group, Ward’s Auto Online, www.warosauto.com/.
9. Comenca Bank Auto Affordability Index (9 November 2006), www.comerica.com/Comertca_Content/Corporate_Communications/Docs/Auto-Affordability_Index_032006.pdf.
10. Ward’s Automotive Group, Ward’s Auto Online, www.wardsauto.com/
11. GM Global Market & Industry Analysis data (2006).
12. R. Nader, *Unsafe at Any Speed: The Designed-In Dangers of the American Automobile* (New York: Grossman, 1965).
13. U.S. National Research Council. *Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards* (Washington, D.C.: National Academy Press, 2001), p.5A-4.
14. GM Global Market & Industry Analysis data (2006).
15. M. LaLande, “Knowledge Based Product and Process Development,” GM Global Engineering benchmarking studies, and National Center for Manufacturing Sciences presentation (18 April 2005).
16. GM data (2006).
17. “Top Innovations for 2004: A Quick Change,” *R&D Magazine*, 46 (9) (September 2004), p. 52.
18. D. Triantos and M. Michaels, *SAE Technical Paper 1999-01- 0659* (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1999).

19. R. Borns and D. Whitacre, SAE Technical Paper 2005-01-1387 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2005).
20. R. Osborne, "Magnesium Chassis Structures-Future and Current" (Presentation at the General Motors Magnesium Conference, Pontiac, MI, 17 October 2006).
21. M. Nehan et al., SAE Paper No, 960419 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1996).
22. A.A. Luo and A.K. Sachdev, "Lightweight Hybrid Tubular/ Casting Instrument Panel Beam," U.S. patent application (15 February 2005, published on 8 June 2006).
23. Model T Ford Club of America, "1909 and 1910 Introduction," www.mtfca.com/encyclo/1909-10H.htm.
24. Model T Ford Club of America, "1909 Ford Model T Touring Car," www.mtfca.com/gallery/photos/Breker09.jpg.
25. Rootlieb Website, "Ford Model T Hoods," www.rootlieb.com/html_files/mt_hd&mt_hds.html.
26. Historical Highlights of the Global Market for Aluminum Closures. The Aluminum Association.
27. Registration record of Aluminum Association designations and chemical composition limits for wrought aluminum and wrought aluminum alloys (Washington, D.C.: Aluminum Association, 1993).
28. A.J. Barnes, *Mat. Sci. Forum*, 170-172 (1994), p. 701.
29. E.M. Taleff et al., *Advances in Superplasticity and Superplastic Forming* (Warrendale, PA: TMS, 2004), p. 9.
30. K. Siegen, *Aluminium*, 80 (7-8) (July-August 2004), pp. 854- 859.
31. Eric Lundin, *The Tube & Pipe Journal* (13 January 2004), www.thefabricator.com/Hydroforming/Hydroforming_Article.cfm?ID=805.
32. "Warmed up Aluminum Could Beat Steel to the Draw," *Materials Engineering*. 88 (5) (1979), pp. 52-54
33. P.A. Friedman, "Roll Hemming of Aluminum Closure Panels for Improved Process Robustness" (Presentation at the 2002 TMS Fall Meeting, Columbus, OH, 6-8 October 2002).
34. B. Corbett, *Ward's Auto World*, 38 (7) (2002), p. 29
35. "Materials Progress: Forming/Processing," *Advanced Materials & Processes*, 157 (3) (March 2000). p. 19.
36. T.M. Lee et al., SAE Technical Paper 2006-01-0987 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2006).
37. W.A. Backofen et al., *Transactions ASM*, 57 (1964), pp. 980- 990.
38. M.A. Kulas et al., *Met. Mat. Trans A*, 36A (5) (2005), pp. 1249-1261.
39. J.E. Carsley. "Microstructural Evolution During Bending: Conventional vs. Roller Hemming," 6th Global Innovations Symposium on Materials Processing Trends in Materials and Manufacturing

- Technologies for Transportation Industries and Powder Metallurgy Research and Development in the Transportation Industry, ed. T.R. Bieter et al. (Warrendale, PA: TMS, 2005), pp. 169-174.
40. C. Kim, M.G. Konopnicki, and F.G. Lee, *Advances in Superplasticity and Superplastic Forming 2004*, ed. E.M. Taleff, P.E. Krajewski, and P.A. Friedman (Warrendale, PA: TMS, 2004), pp. 77- 82.
 41. AudiWorld, "Pioneering Work in Production: Manufacturing the New Audi A8" (August 2002), www.audiworld.com/news.02/aluminum/content2.shtml
 42. P.E. Krajewski and E.F. Ryntz, U.S. patent 5,948,185 (17 September 1999).
 43. C.J. Bruggemann, "Hydroforming of Structure Parts for Personal Cars," *International Conference on Hydroforming of Tubes. Extrusions and Sheet Metals* (Frankfurt, Germany: Institute for Metal Forming Technology of the University of Stuttgart, 1999), pp. 353- 371.
 44. A.A. Luo and A.K. Sachdev, SAE Technical Paper 2005-01-1392 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2005).
 45. B. Miller, *Plastics World*, 54 (10) (1996), pp. 39, 40, 42, 45.
 46. E.J. Premo, SAE Technical Paper SAE-540257 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1954).
 47. R.S. Momson, SAE Technical Paper SAE-640374 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1964).
 48. J.P Wallon. SAE Technical Paper 6701056 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1967).
 49. R.A. Vogelei, SAE Technical Paper 740979 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1974).
 50. E.P. DePalma and D.E. Lehmkuhl, SAE Technical Paper 710022 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1971).
 51. R.A. Vogelei, SAE Technical Paper 740979 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1974).
 52. J.M Castro and R.M. Griffith, *Sneet Molding Compounds Science and Technology*, ed, H. Kia (New York: Hanser Publishers, 1993), pp. 163-180.
 53. D.H. Andersen and A.F Lawrence SAE Technical Paper 830487 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. 1983).
 54. J. Sneller, *Modem Plastics*, 58 (3) (1981), pp. 62-65.
 55. R.L. Smith, SAE Technical Paper 880360 (Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1988).
 56. S. Wood, *Modern Plastics*, 61 (10) (1984), pp. 48-50.
 57. S. Wood, *Modem Plastics*, 61 (2) (1984), pp. 46-49.
 58. G. Menges and H. Derek, SAE Technical Paper 830991 (Warrendale, PA: Society of

Automotive Engineers, 1983).

59. H.G. Kia et al., *Journal of Composite Materials*, 40 (16) (August 2006), pp. 1413-1429.

60. H.G. Kia et al., *Journal of Composite Materials*, 40 (16) (August 2006), pp. 1431-1447.

61. W.R. Rodgers et al., "The Development and Expansion of TPO Nanocomposite Materials in Automotive Applications" (Presentation at the Automotive TPO Global Conference, Society of Plastics Engineers, Sterling Heights, MI, October 2005).

62. H.S. Lee et al., *Polymer*, 46 (25) (28 November 2005), pp. 11673-11689.

63. American Metal Market, "Metal Statistics" (2006), www.AMM.com.