

Soft touch waterborne polyurethane coatings. Control of optic and haptic properties

Rivestimenti poliuretani a base acquosa morbidi al tatto. Il controllo delle proprietà ottiche e tattili

Roel Swaans, Michael Villet, Matthew Gebhard, Qil CHEM Fred Buckmann, Arend-Jan Scholten, Patrick Stals - DSM Coating Resins, Netherlands



R. Swaans

INTRODUCTION

Haptic effect and low gloss coatings are representing a growing share of paints and coatings in the industry. "Look and feel" are core to the added value of these coating systems: by providing distinctive and appealing visual and tactile properties to end consumers, soft touch matting coatings help set a product apart. Next to a pleasant feel, these coatings also offer desirable aesthetic features such as creating contrasting surfaces, reducing sheen and enhancing color depth.

Starting over 15 years ago DSM introduced a waterbased resin range for these very low gloss and haptic effect (such as soft touch) coatings. This one component technology has grown fast and has become a major product line consisting of a unique portfolio of waterbased (optionally UV curable) resins.

POLYURETHANE DISPERSIONS WITH MICRON SIZED PARTICLES

Waterbased Polyurethane Dispersions (PUDs) are a rapidly growing segment of the polyurethane coating industry, partly due to environmental legislations and the pressure to reduce emissions of volatile organic compounds (VOCs) to the environment.

In general, PUDs are small and discrete polymer particles of fully reacted polyurethane/ polyureas, stabilized in water. Most common PUDs consist of particles in the typical size range of 10 - 200 nm.

Upon drying of the coating, proper coalescence of

INTRODUZIONE

I rivestimenti con effetto tattile e a brillantezza ridotta rappresentano una quota di pitture e rivestimenti in crescita in ambito industriale.

"Vedere e sentire" sono essenziali per il valore aggiunto di questi sistemi di rivestimento: fornendo agli utilizzatori finali proprietà visive e tattili uniche ed interessanti, i rivestimenti opacizzanti morbidi al tatto contribuiscono a distinguere un prodotto.

Oltre a una sensazione al tatto gradevole, questi rivestimenti offrono anche caratteristiche estetiche ambite quali superfici di contrasto, ridotta luminosità ed intensificazione della purezza della tinta.

Già 15 anni fa, DSM ha lanciato una serie di resine a base acquosa per questi rivestimenti a brillantezza ridotta e con un effetto gradevole al tatto (morbido ad esempio). Questa tecnologia monocomponente si è sviluppata velocemente e ha dato luogo a una importante linea di prodotti rappresentata da un portafoglio di resine a base acquosa (in alternativa anche reticolabili a UV).

DISPERSIONI POLIURETANICHE A GRANULOMETRIA NELL'ORDINE DEI MICRON

Le dispersioni Poliuretaniche a base acquosa (PUD) rappresentano un segmento in rapida crescita nell'industria produttrice di rivestimenti poliuretani, in parte a causa della legislazione sulla tutela dell'ambiente e delle pressioni per ridurre le emissioni dei composti organici volatili (VOC) nell'ambiente.

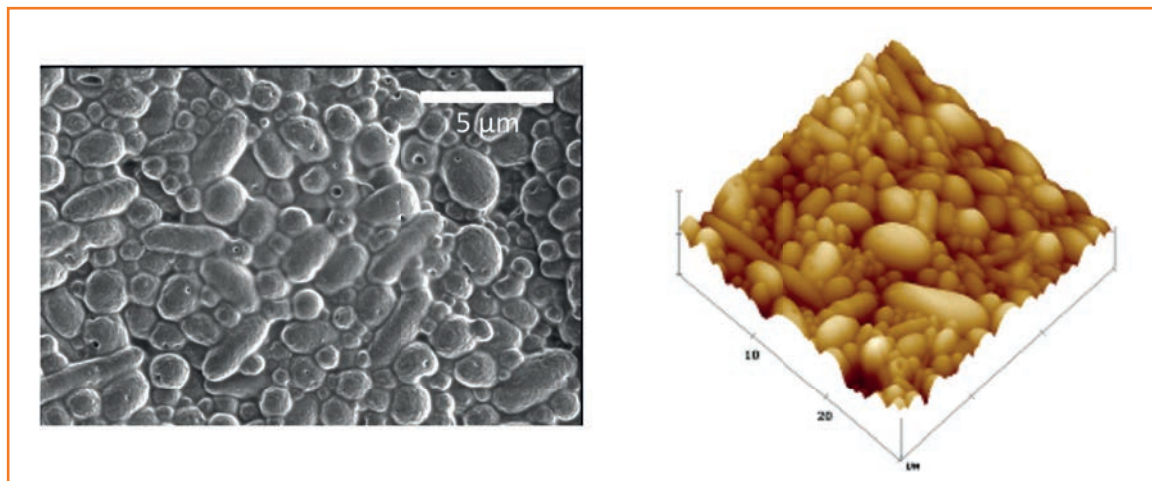


Fig. 1 SEM image and a 3D AFM image of a DSM softfeel coating, illustrating the particles in the size range of approximately 1-10 micrometers
Immagine SEM e 3D AFM di un rivestimento DSM soffice al tatto, che presenta le particelle in un range dimensionale approssimativo di 1-10 micron

particles, results in a smooth and glossy surface.

DSM has developed a one component technology that enables the synthesis of much larger, yet stable micron-sized polyurethane particles in water. Typical particle sizes range between 1 and 10 micron (Fig. 1).

These special PUDs can be applied to generate low gloss coatings with a haptic effect, without the use of a second crosslinker. The effect is obtained solely by physical drying of the polyurethane dispersion.

Due to specific design, these polyurethane particles demonstrate sufficient coalescence during film formation to form a coherent film, but usually retain their original shape, so that a defined surface roughness is obtained. Even though these particles are in the micron size range, this effect can already be obtained in coatings of only a few micrometer thickness.

OPTIC PROPERTIES: HOW DOES IT LOOK?

Traditionally, in the coating industry gloss is controlled with organic or inorganic

In generale, le PUD sono particelle polimeriche di piccole dimensioni e uniformi della poliurea/poliuretani interamente reagiti e stabilizzati nell'acqua. La maggior parte delle PUD può essere costituita da particelle nel range dimensionale variabile da 10 a 200 nm.

Durante l'essiccazione del rivestimento, la corretta coalescenza delle particelle dà una superficie levigata e brillante.

DSM ha messo a punto una tecnologia monocomponente che permette la sintesi di particelle poliuretatiche di dimensioni superiori nell'ordine dei micron e molto stabili. Le dimensioni tipiche della particella variano da 1 a 10 micron (Fig. 1).

Queste PUD speciali possono essere applicate in modo da dar luogo a rivestimenti a bassa brillantezza con effetto tattile senza dover utilizzare un secondo reticolante. L'effetto è ottenuto unicamente dall'essiccazione fisica della dispersione poliuretanicca.

Grazie alla struttura specifica, queste particelle poliuretatiche

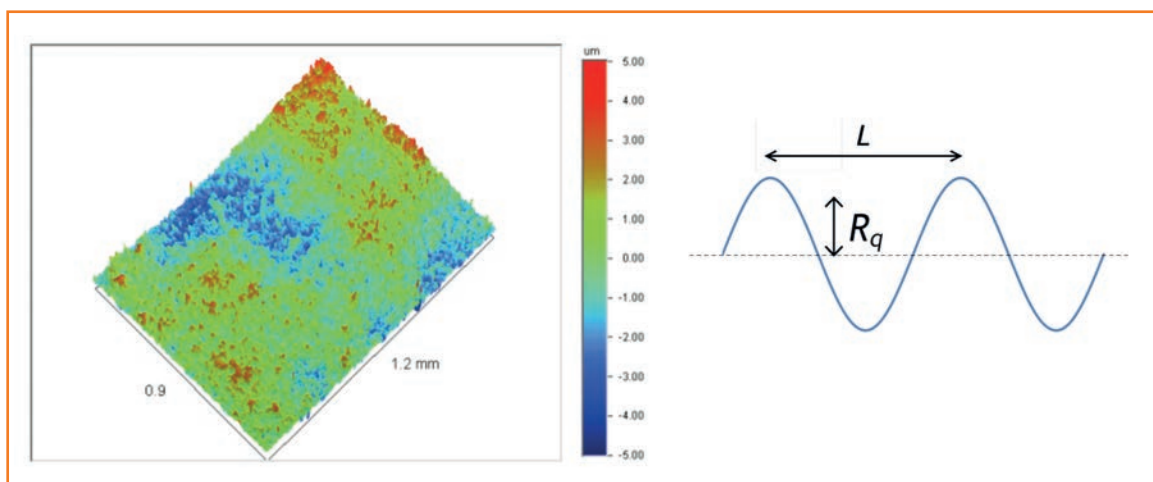


Fig. 2 Typical 3D representation of a surface profile (left) and graphic clarification of parameters Rq and L(right), which are used to describe surface roughness
Rappresentazione 3D tipica di un profilo superficiale (a sinistra) e classificazione grafica dei parametri Rq e L (destra), che sono utilizzati per descrivere la rugosità superficiale

fillers, which cause surface roughness in the dried coating film thus reducing gloss^[1]. In printing and packaging as well as wood finishing it is highly desired to provide matted transparent coatings which enhance the color depth of the underlying substrate. High visual transparency is a key requirement in these markets. This can be difficult when using micron sized fillers, partly due to refractive index mismatching. The alternative approach is to design a polymer, which forms a low gloss rough surface on its own. Such polymers can be cast in thin films, and have high transparency due no internal refractive index mismatching.

In order to obtain quantitative data on surface topography, roughness profiles can be analysed by means of white light interferometry.

From the obtained 3D profiles (Fig. 2), many different surface parameters can be calculated, such as the root mean squared roughness (Rq), representing the height differences between valleys and peaks, and the average spacing between the peaks (L).

HAPTIC PROPERTIES: HOW DOES IT FEEL?

Haptic perception is the outcome of a tribology experiment we perform with our skin: as we move our finger over a surface, the forces and vibrations generated in this frictional contact are detected by several types of neural mechanoreceptors embedded in the skin, whose signals are processed by our brains into our sensory experience of “feel”^[2].

The contact mechanics and frictional forces between skin and surface therefore play a key role in haptic perception^[3].

During touch, the surface roughness of both skin and surface prevents perfect contact in the entire apparent contact area. Generally, a softer surface deforms more easily, leading to more contact area and thus higher friction^[4].

We constructed a finger friction measurement apparatus enabling us to study frictional forces generated on our materials during touch. Inspired by examples in literature^[5,6], the apparatus consists of a triaxial force cell on which the sample surface of interest can be mounted:

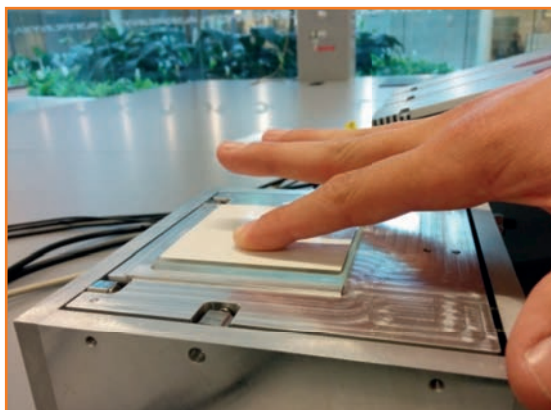


Fig. 3 Finger friction measurement in progress using triaxial force measurement apparatus
Misure dell'attrito del dito in avanzamento con l'apparato di misura a carico triassiale

retaniche mostrano una sufficiente coalescenza durante la fase filmogena così da dare un film uniforme, conservando solitamente la loro forma originale e dando luogo ad una rugosità superficiale definita. Sebbene queste particelle rientrino nel range dimensionale dei micron, questo effetto può già essere ottenuto nei rivestimenti con uno spessore di pochi micron.

PROPRIETÀ OTTICHE: COME APPARE?

Da sempre nell'industria produttrice di rivestimenti la brillantezza è tenuta sotto controllo con i riem-

pitivi organici ed inorganici, che causano la rugosità superficiale nel film di rivestimento essiccati riducendone la brillantezza^[1].

Sia nel settore della stampa che in quello dell'imballaggio, ma anche in quello delle finiture del legno sono molto apprezzati i rivestimenti trasparenti opacizzati che apportano migliorie all'intensità della tinta del substrato sottostante. L'alta trasparenza visiva è un requisito chiave di questi mercati.

Questo può essere difficilmente ottenibile quando si usano riempitivi nell'ordine dei micron, in parte per la

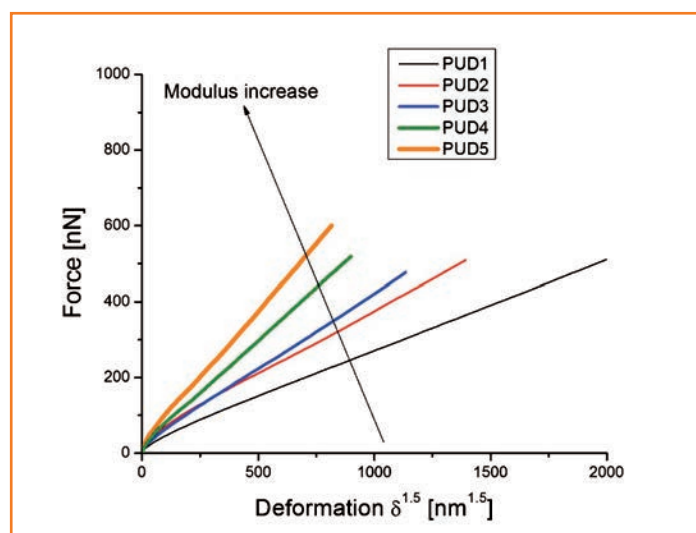


Fig. 4 Force deformation curve of the PUD coatings studied in this work
Curva di deformazione di una forza dei rivestimenti PUD studiati in questa attività

this force cell simultaneously measures normal and tangential forces exerted on the surface, and this data can be used to calculate a Coefficient of Friction (CoF), by dividing tangential force by normal force.

To evaluate materials, a practiced operator slides his or her finger across a mounted sample (Fig. 3). Fresh material is used for each measurement to avoid transfer of finger lipids, which alter the CoF if the same area is touched repeatedly^[5].

As an example of how tribological principles can be used to control haptic performance, finger friction data have been collected for a systematic series of five experimental polyurethane dispersions, that were designed

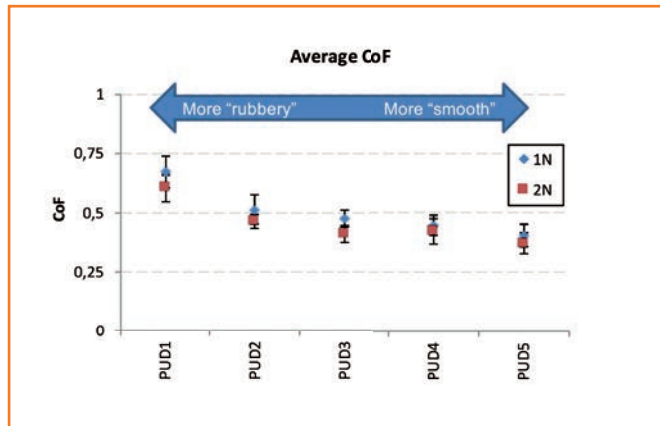


Fig. 5 Experimental finger CoF data for the five PUDs. Higher stiffness coatings are seen to result in lower finger CoF
Dati di CoF sperimentali del dito per cinque PUDs. I rivestimenti con superiore rigidità danno un CoF del dito inferiore

differenti parametri superficiali come la rugosità quadratica media (Rq), che rappresenta le differenze di altezza fra valli e picchi e la spaziatura media fra i picchi (L).

disuguaglianza dell'indice di rifrazione. Un approccio alternativo è lo sviluppo di un polimero che formi una superficie ruvida a brillantezza ridotta da solo.

Questi polimeri possono essere fusi in film con spessore ridotto e avere una elevata trasparenza perché non vi è disuguaglianza nell'indice di rifrazione.

Per ottenere dati quantitativi sulla topografia superficiale, i profili della rugosità possono essere analizzati mediante interferometria in luce bianca.

Dai profili 3D ottenuti (Fig. 2), è possibile calcolare molti

to have coatings with similar surface texture, but to have different mechanical stiffness of the coating layer.

The near-identical surface roughness parameters were confirmed by the fact that all coatings showed very similar gloss values^[7].

In order to obtain high resolution information on the top surface specifically, Atomic Force Microscopy (AFM) was used to measure the modulus variation^[8] in the tested systems (Fig. 4); the AFM measurements demonstrate that the coating stiffness has been altered systematically and significantly within this series, PUD 5 being the stiffest.

In figure 5 we present finger coefficient of friction data for this coating series.

As expected, the measured finger CoF is observed to decrease with increasing stiffness of the coating. This is in agreement with the theoretical prediction that the lower-stiffness coatings should deform more and create a higher true area of contact at a given load, resulting in higher friction forces.

Qualitatively, the softer coatings were also described as having a “rubbery” feel, while the harder coatings are experienced as “smooth.” By controlling coating properties and thereby finger tribology, we are thus able to control the haptic properties of the coating.

QUANTIFYING FEEL: A HUMAN SENSORY PANEL AS ANALYTICAL INSTRUMENT

When describing our haptic perception in daily life, we often refer to concepts like “hard,” “soft,” “sticky,” “slippery,” “smooth” or “rough”.

However, these perceptual experiences do not map one-to-one onto physical properties of the surface; for example, changing the surface texture of molded plastic material can alter the reported perception of “softness” or “hardness” of the surface, even when the mechanical properties of the material are identical^[6]

Moreover, it is difficult to use precise language to describe haptic perception, as there is no universal agreement on what, for example, “silky” feels like, or on how to judge which of two surfaces is “more silky”.

The quantification of sensory experience therefore requires the careful use of a sensory panel of human evaluators^[9].

For that reason, DSM has set up a haptic sensory panel that is used as an analytical instrument as opposed to a qualitative instrument.

The goal of this panel will not be to rank coatings for their preference, but to score the coatings on various

PROPRIETÀ TATTILI: QUALE EFFETTO AL TATTO?

La percezione tattile è l'esito di un esperimento di tribologia compiuto sulla nostra pelle: muovendo il dito su una superficie, le forze e le vibrazioni generate in questo contatto per sfregamento vengono rilevate con varie tipologie di meccanorecettori neurali incorporati nella cute e i cui segnali sono trattati dal nostro cervello nell'esperienza sensoriale del “sentire”^[2]. Le meccaniche del contatto e le forze di attrito fra la cute e la superficie giocano quindi un ruolo determinante nella percezione tattile^[3]. Nel toccare, la rugosità superficiale di cute e superficie previene il contatto totale in tutta l'area interessata. In generale, una superficie più morbida si deforma più facilmente, determinando un'area di contatto più estesa e quindi un superiore attrito^[4].

E' stata messa a punto un'apparecchiatura per la misura dell'attrito del dito che ha consentito di studiare le forze di attrito generate sui materiali presi in considerazione durante l'esperienza tattile. Sulla scorta degli esempi forniti in letteratura^[5,6], l'apparato strumentale è costituito da una cella di carico triassiale su cui può essere montata la superficie del campione di interesse.

Questa cella misura simultaneamente le forze perpendicolari e tangenziali esercitate sulla superficie, e questi dati possono essere utilizzati per calcolare il coefficiente di attrito (CoF), dividendo la forza tangenziale per la forza perpendicolare.

Per valutare i materiali, un operatore esperto fa scivolare il dito per tutto il campione montato (Fig. 3). Per ogni misura è usato materiale fresco così da evitare il passaggio dei lipidi del dito, in quanto questo altera il coefficiente di attrito se la stessa area viene toccata ripetutamente^[5].

Un esempio di come i principi tribologici possono essere utilizzati per controllare la prestazione tattile è dato dai dati dell'attrito del dito che sono stati raccolti per una serie sistematica di cinque dispersioni poliuretatiche sperimentali, sviluppate per ottenere rivestimenti dotati di un effetto superficiale simile, ma per avere anche una rigidità meccanica differente dello strato di rivestimento.

I parametri della rugosità superficiale quasi identici sono stati confermati dal fatto che tutti i rivestimenti presentavano valori di brillantezza molto simili fra loro^[7].

Per ottenere informazioni relative all'alta risoluzione, in particolare sulla parte più esterna della superficie, è stata utilizzata la microscopia a forza atomica (AFM) così da misurare le variazioni di modulo^[8] nei sistemi analizzati (Fig. 4); le misure AFM dimostrano che la rigidità del rivestimento in questa serie è stata alterata sistematicamente e in modo significativo, con le PUD 5 volte più rigide.

defined attributes, that together can be used to quantify the haptic perception of coatings.

In this way a multidimensional perceptual space can be created in which these (coating) surfaces can be positioned^[10].

Our approach is to build the multi-dimensional correlation between the scores of the human panel and the material properties of the coating such as modulus, surface roughness, coefficient of friction and heat conductivity. By doing this, it will be possible to determine which physical measures can be used to tune the haptic perception, which is crucial for new product developments.

Additionally, it will assist us to identify which physical parameters can be changed without the influence on the human perception.

This can be crucial, as the haptic perception is often not the only important property of a coating. If for example the flexibility of a coating can be increased to improve scratch resistance, without an effect on the way the coating is perceived, it is possible to prepare a coating with better overall properties.

Finally, the sensory panel has been used for quantitative quality control of the DSM soft feel products. This allows for better control and differentiation of haptic coatings and moves us away from what has been to date a very subjective assessment.

SUMMARY

DSM has demonstrated the ability to produce one component stable micron sized aqueous polyurethane dispersions that provide coatings with a matt appearance and a haptic perception such as soft touch. This effect is obtained without the use of crosslinkers and can even be achieved at very low film thickness (2 to 3 µm).

The surface roughness is an important parameter for the optic and haptic properties of coatings. White light interferometry was used to quantify the surface roughness and to correlate these with gloss values.

For the tactile properties of a coating, next to surface roughness, other parameters such as stiffness of the polymer film are important as well. In a systematic study, a set of experimental coatings were formulated to have similar surface texture, but displaying different mechanical stiffness of the coating layer.

The different tactile perception of these coatings were explained by finger friction measurement results and it was concluded that the increase in coating stiffness, results in a reduction of finger coefficient of friction.

Recently DSM established a haptic sensory panel

Nella figura 5 è presentato il coefficiente di attrito del dito per questa serie di rivestimenti. Come previsto, si è osservato che il CoF del dito diminuisce con l'aumentare della rigidità del rivestimento. Tutto questo è in linea con le previsioni teoriche in base alle quali i rivestimenti a rigidità inferiore dovrebbero deformarsi di più per creare un'area di contatto più estesa dato un certo carico, risultante in forze di attrito superiori. Dal punto di vista qualitativo, nei rivestimenti più morbidi è stato notato un "effetto gommoso", mentre in quelli più duri un effetto più "levigato". Misurando le proprietà del rivestimento e quindi anche la tribologia del dito, si è in grado di controllare le proprietà tattili del rivestimento.

QUANTIFICARE LA SENSAZIONE TATTILE: UN QUADRO DI RIFERIMENTO SENSORIALE DELL'UOMO COME STRUMENTO ANALITICO

Quando descriviamo la percezione tattile nella nostra vita quotidiana, facciamo riferimento a concetti quali "duro", "morbido", "colloso", "scivoloso", "levigato" oppure "ruvido". Tuttavia, queste esperienze percettive non si intersecano individualmente con le proprietà fisiche della superficie; ad esempio, cambiare l'effetto superficiale del materiale plastico stampato può alterare la percezione di "morbidezza" o di "durezza" anche quando le proprietà meccaniche del materiale sono identiche^[6]. Inoltre, è difficile utilizzare una terminologia precisa per descrivere la percezione tattile perché non esiste accordo su come si percepisce, ad esempio, l'effetto satinato o su come valutare quale di due superfici mostra maggiormente "l'effetto satinato". Quantificare l'esperienza sensoriale richiede quindi l'utilizzo attento di un quadro sensoriale della percezione umana^[9].

Per questa ragione, DSM ha fissato un quadro valutativo della percezione tattile che è utilizzata come strumento di analisi, diversamente da uno strumento qualitativo. La finalità di questo quadro non è quello di classificare i rivestimenti in base alla preferenza, ma di dare un punteggio ai rivestimenti rispetto a diversi attributi definiti, che insieme possono essere usati per quantificare la percezione tattile dei rivestimenti. In questo modo, è possibile creare uno spazio percettivo pluridimensionale in cui collocare queste superfici (rivestimenti)^[10].

La tecnica adottata si basa sulla costruzione di uno schema di correlazione pluridimensionale fra i punteggi dello schema dell'operatore e le proprietà del materiale del rivestimento quali il modulo, la rugosità superficiale, il coefficiente di attrito e la conducibilità termica. Procedendo in questo modo risulta infine possibile

to quantify the human perception of coatings and to correlate these with physical coating properties.

Although DSM's micron sized polyurethane dispersions have mainly been appreciated in the graphic arts and packaging industry so far, the technology is ready to be expanded to other coating applications

REFERENCES

- [1] Surface correlation effects on gloss, R. Alexander-Katz, R.G. Barrera, J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys., 36, 1998, 1321-1334.
- [2] Haptic perception: A tutorial, S.J. Lederman and R.L. Klatzky; Atten. Percept. Psycho. 71 (7), 2009, 1439-1459.
- [3] A comparative study between experimentally measured mechanical attributes and users' perception of soft feel coatings: correlating human sense with surface characteristics of polyurethane based coatings, A. Mirabedini, M. Mohseni, B. Ramezanzadeh; Progress in Organic Coatings 76 (2013) 1369-1375.
- [4] A review of fingerpad contact mechanics and friction and how this affects tactile perception, J. van Kuilenburg, M.A. Masen, E. van der Heide; Proc. IMechE Part J: J Engineering Tribology 229(3), 2013, 243-258.
- [5] Tactile perception: Finger friction, surface roughness and perceived coarseness, L. Skedung K. Danerlöv, U. Olofsson, C.M. Johannesson, M. Aikala, J. Kettle, M. Arvidsson, B. Berglund, M.W. Rutland.; Tribology International 44 (2011), 505-512
- [6] Evaluation of the human tactile sense to microtexturing on plastic molding surfaces, N. Kawasegi, M. Fujii, T. Shimizu, N. Sekiguchi, J. Sumioka, Y. Doi; Precis. Eng. 37, 2013, 433-442.
- [7] Soft touch waterborne polyurethane coatings - Control of optic and haptic properties, R. Swaans, M. Villet, M. Gebhard, Q. Chen, F. Buckmann, A.J. Scholten, P. Stals; American Coatings Conference, Indianapolis 2016.
- [8] Force measurements with the atomic force microscope Technique, interpretation and applications, H.-J. Butt, B. Cappella, M. Kappl, Surface Science Reports 59 (2005), 1-152
- [9] Tactual perception of material properties, W.M. Bergmann Tiest; Vision Res. 50, 2010, 2775-2782.
- [10] Perceptual dimensions of tactile surface texture: a multidimensional scaling analysis, M. Hollins, R. Faldowski, S. Rao, F. Young; Perception and Psychophysics, (1993) 54 (6), 697-705.

determinare quali misure fisiche possono essere adottate per modulare la percezione tattile, che è essenziale per i nuovi sviluppi dei prodotti. Inoltre, questa procedura è utile ad individuare quali parametri fisici possono essere modificati senza esercitare un influsso sulla percezione dell'uomo. Questo può essere determinante, in quanto la percezione tattile non è spesso l'unica proprietà importante di un rivestimento. Se, per esempio, la flessibilità di un rivestimento può essere incrementata per migliorare la resistenza alla scalfittura, senza influire sulla modalità in cui il rivestimento viene percepito, è possibile preparare un rivestimento dotato di migliori proprietà generali. Infine, il quadro sensoriale è stato usato per la misura quantitativa della qualità dei prodotti morbidi al tatto DSM. Ciò consente un migliore controllo e diversificazione dei rivestimenti ad effetto tattile e di discostarci da quella che è stata finora una valutazione soggettiva.

CONCLUSIONI

DSM ha dimostrato l'abilità di produrre dispersioni poliuretaniche a base acquosa monocomponenti, stabili e nell'ordine dimensionale dei micron che danno rivestimenti opachi e con effetti tattili come l'effetto morbido. Questo effetto è ottenuto senza dover usare reticolanti e con spessori molto ridotti (2-3 mm).

La rugosità superficiale è un parametro importante per le proprietà ottiche e tattili dei rivestimenti. L'interferometria in luce bianca è un importante parametro per valutare le proprietà ottiche e tattili dei rivestimenti. L'interferometria in luce bianca è stata utilizzata per quantificare la rugosità superficiale e correlarla ai valori di brillantezza. Per quanto riguarda le proprietà tattili di un rivestimento, oltre alla rugosità superficiale, sono importanti altri parametri quali la rigidità del film polimerico. In uno studio sistematico, sono stati formulati diversi rivestimenti sperimentali dotati degli stessi effetti superficiali ma dotati di una diversa rigidità meccanica dello strato di rivestimento. La differente percezione tattile di questi rivestimenti è stata spiegata con i risultati della misura dell'attrito del dito e si è giunti alla conclusione che l'aumento della rigidità del rivestimento dà una riduzione del coefficiente di attrito del dito.

Recentemente DSM ha fissato un quadro di riferimento sensoriale per quantificare la percezione umana dei rivestimenti e correlarli alle proprietà fisiche del rivestimento. Sebbene le dispersioni poliuretaniche DSM nell'ordine dimensionale dei micron siano state apprezzate finora dall'industria operante nel settore delle arti grafiche e degli imballaggi, la tecnologia è pronta per essere estesa ad altre applicazioni di rivestimenti.